



TUGAS AKHIR - TK145501

# **PABRIK *BASE OIL* DAN *GASOLINE* DARI LIMBAH PLASTIK DENGAN PROSES *FAST PYROLYSIS***

HELMY KURNIA ARNANDA  
NRP. 2314 030 066

MIFTAKUL BAHAR  
NRP. 2314 030 072

Dosen Pembimbing  
Ir. SRI MURWANTI, MT

Program Studi DIII Teknik Kimia  
Departemen Teknik Kimia Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017



---

TUGAS AKHIR - TK145501

**PABRIK *BASE OIL* DAN *GASOLINE* DARI  
LIMBAH PLASTIK DENGAN PROSES *FAST  
PYROLYSIS***

HELMY KURNIA ARNANDA  
NRP. 2314 030 066

MIFTAKUL BAHAR  
NRP. 2314 030 072

Dosen Pembimbing  
Ir. SRI MURWANTI, MT

Program Studi DIII Teknik Kimia  
Departemen Teknik Kimia Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



---

**FINAL PROJECT - TK145501**

**BASE OIL AND GASOLINE FACTORY OF PLASTIC  
WASTE WITH FAST PYROLYSIS PROCESS**

**HELMY KURNIA ARNANDA**  
NRP. 2314 030 066

**MIFTAKUL BAHAR**  
NRP. 2314 030 072

Supervisor  
Ir. SRI MURWANTI, MT

STUDY PROGRAM OF D III CHEMICAL ENGINEERING  
Departement Of Industrial Chemical Engineering  
Faculty Of Vocational  
Institute Technology of Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017

# LEMBAR PENGESAHAN

## LAPORAN TUGAS AKHIR DENGAN JUDUL : PABRIK *BASE OIL* DAN *GASOLINE* DARI LIMBAH PLASTIK DENGAN PROSES *FAST PYROLYSIS*

### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
pada  
Departemen Teknik Kimia Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

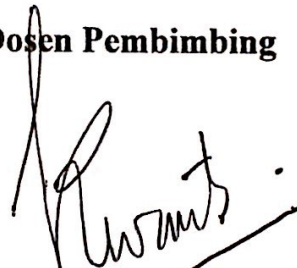
Oleh

Helmi Kurnia Arnanda  
Miftakul Bahar

(NRP 2314 030 066)  
(NRP 2314 030 072)

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing



Ir. Sri Murwanti, MT  
NIP. 19530226 198502 2 001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Kimia Industri  
FV-ITS



Ir. Agung Subyakto, M.S.  
NIP. 19580312 198601 1 001

SURABAYA, 26 JULI 2017



## LEMBAR REVISI


Telah diperiksa dan disetujui sesuai dengan hasil ujian tugas akhir  
pada tanggal 26 Juli 2017 untuk tugas akhir dengan judul  
**“Pabrik Base Oil dan Gasoline dari Limbah Plastik dengan  
Proses Fast Pirolisis”**, yang disusun oleh :

**Helmi Kurnia Arnanda**  
**Miftakul Bahar**


(NRP 2314 030 066)  
(NRP 2314 030 072)

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir :

1. Ir. Imam Syafril, M.T.

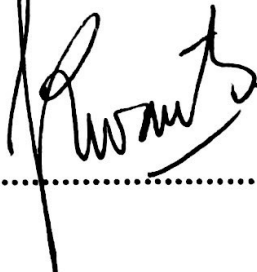
  
.....

2. Nurlaili Humaidah, ST, MT

  
.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Sri Murwanti, MT

  
.....

**SURABAYA, 26 JULI 2017**

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur senantiasa kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa oleh karena rahmat dan karuniaNya sehingga pada akhirnya kami sebagai penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir kami yang berjudul “Pabrik Base Oil dan Gasoline dari limbah plastik dengan proses *Fast Pyrolysis*”.

Tidak lupa juga kami mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu kami dalam penyusunan hingga penulisan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Ibu dan bapak tercinta, atas dukungan biaya dan nasehat-nasehatnya.
2. Bapak Ir. Agung Subyakto, MS, selaku Kaprodi DIII Teknik Kimia FTI-ITS
3. Ibu Ir. Sri Murwanti, MT, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir kami.
4. Bapak Ir. Imam Syafril, MT, selaku dosen penguji Tugas Akhir kami.
5. Ibu Nurlaili Humaidah, ST, MT, selaku dosen penguji Tugas Akhir kami.
6. Ibu Warlinda Eka Triastuti, S.SI, MT, selaku Koordinator Tugas Akhir kami.
7. Bapak dan Ibu dosen serta karyawan D-III Teknik Kimia FTI-ITS semuanya.

Kami menyadari akan banyaknya kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, namun kami sebagai penyusun berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca sekalian, khususnya dalam menambah wawasan bagi para pembacanya.

Surabaya, Juli 2017

Penyusun

## BASE OIL AND GASOLINE FACTORY OF PLASTIC WASTE WITH FAST PYROLYSIS PROCESS

Name : 1. Helmi Kurnia Arnanda 2314 030 066  
2. Miftakul Bahar 2314 030 072  
Department : Departement Of Industrial Chemical Engineering  
Supervisor : Ir. Sri Murwanti, MT

### ABSTRACT

*Base Oil is the base material for lubricant manufacture having viscosity of viscosity of 25,43 cSt by using plastic waste material. Background to the establishment of this plant due to the depletion of fossil resources so that the base oil from crude oil which is limited and not renewable will be replaced by alternative materials that is synthetic material from plastic waste.*

*Base Making Process 6 is solvent refined, combine catalytic hydrocracking, addition of hydrocracking polymer, polymerization, esterification, and pyrolysis. At the factory we use the process of pyrolysis, the advantages of using pyrolysis process is using raw materials by utilizing plastic waste .. The principle of the production process of base oil and gasoline is to change the waste of plastic (PE) by the process of pyrolysis with combustion chamber with temperature 524oC, for the next process Hydrocracking and hydrogenation. Then the process step is to separate the mixture in a distillation column I at atmospheric pressure to separate the gas gas (C3H8) and > C5 produce then distillation again by using distillation column II by distillation system at atmospheric pressure. The distillation complex separates gasoline (C8) as the top product while the bottom product is base oil (C16).*

*This plant is planned to operate continuously with the production capacity of this Base Oil plant of 145,000 tons / year to be established in Paciran, Lamongan District. The main raw materials of this plant are Waste Plastics and PE. The products produced by this factory are Base Oil and Gasoline.*

**Keywords: : Base oil, gasoline, and pyrolysis**

# **PABRIK BASE OIL DAN GASOLINE DARI LIMBAK PLASTIK DENGAN PROSES FAST PYROLYSIS**

Nama Mahasiswa : 1. Helmi Kurnia A 2314 030 066  
2. Miftakul Bahar 2314 030 072  
Program Studi : DIII Teknik Kimia FTI-ITS  
Dosen Pembimbing : Ir. Sri Murwanti, MT.

## **ABSTRAK**

*Base Oil adalah bahan dasar untuk pembuatan pelumas memiliki bentuk kental dengan viskositas sebesar 25,43 cSt dengan menggunakan bahan baku limbah plastik. Latar Belakang pendirian pabrik ini karena menipisnya Sumber daya alam fosil sehingga base oil yang berasal dari crude oil yang jumlahnya terbatas dan tidak dapat diperbarui akan digantikan bahan alternatif yaitu bahan sintetis dari limbah plastik.*

*Proses Pembuatan Base ada 6 yaitu solvent refined, combine catalytic hydrocracking, penambahan polimer hydrocracking, polimerisasi, esterifikasi, dan pyrolysis. Pada pabrik kami menggunakan proses pyrolysis, kelebihan menggunakan proses pyrolysis yaitu menggunakan bahan baku dengan memanfaatkan limbah plastik.. Prinsip dari proses produksi base oil dan gasoline adalah merubah limbah plastik (PE) dengan cara proses pyrolysis dengan ruang pembakaran dengan suhu 524°C, untuk proses selanjutnya hydrocracking dan hydrogenasi. Kemudian tahapan proses yaitu untuk memisahkan campuran dialirkan dalam suatu kolom distilasi I pada tekanan atmosferik untuk memisahkan antara gas gas ( $C_3H_8$ ) dan  $>C_5$  hasilkan kemudian di distilasi kembali dengan menggunakan kolom distilasi II dengan proses distillation system pada tekanan atmosfer. Proses distillation complex memisahkan gasoline ( $C_8$ ) sebagai produk atas sedangkan produk bawah berupa base oil ( $C_{16}$ ).*

*Pabrik ini direncanakan beroperasi secara kontinyu dengan kapasitas produksi pabrik Base Oil ini sebesar 145.000*

*ton /tahun yang akan didirikan di Paciran, Kabupaten Lamongan. Bahan baku utama pabrik ini adalah Limbah Plastik dan PE. Produk yang dihasilkan pabrik ini adalah Base Oil dan Gasoline.*

***Kata Kunci:*** *Base Oil, Gasoline, Pyrolysis.*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL .....	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	I-1
1.1 Latar Belakang .....	I-1
1.1.1 Sejarah.....	I-1
1.1.2 Alasan Pendirian Pabrik .....	I-1
1.1.3 Ketersediaan Bahan Baku .....	I-2
1.1.4 Kebutuhan dan Aspek Pasar.....	I-4
1.1.5 Kapasitas Pabrik.....	I-4
1.1.5 Pemilihan Lokasi Pabrik .....	I-5
1.2 Dasar Teori.....	I-6
1.3 Kegunaan Produk .....	I-10
1.4 Sifat-sifat Fisis dan Kimia.....	I-11
1.4.1 Bahan Baku Utama.....	I-11
1.4.2 Baku Pendukung .....	I-12
1.4.3 Produk .....	I-12
<b>BAB II MACAM DAN URAIAN PROSES</b> .....	II-1
2.1 Macam Proses .....	II-1
2.1.1 Proses <i>Solvent Refined/Freezing</i> .....	II-1
2.1.2 Proses <i>Combine Catalytic</i> dan <i>Hydrocracking</i> .....	II-2
2.1.3 <i>Hydrocracking</i> dan Penambahan Polimer.....	II-3
2.1.4 Polimerisasi .....	II-4
2.1.5 Esterifikasi.....	II-5
2.1.6 Pirolisis.....	II-6
2.2 Seleksi Proses .....	II-7
2.3 Proses Terpilih.....	II-10
2.3.1 Proses Pre-Treatment .....	II-12

2.3.2 Proses Pirolisis .....	II-12
2.3.3 Proses <i>Hydroprocessing</i> .....	II-12
2.3.3.1 Proses Hydrocracking.....	II-12
2.3.3.2 Proses Hydrogenasi .....	II-13
2.3.4 Proses Distilasi <i>Complex</i> .....	II-13
BAB III NERACA MASSA .....	III-1
BAB IV NERACA PANAS .....	IV-1
BAB V SPESIFIKASI PERALATAN .....	V-1
BAB VI UTILITAS .....	VI-1
BAB VII KESELAMATAN & KESEHATAN KERJA.....	VII-1
BAB VIII PENGENDALIAN PROSES DAN INSTRUMENTASI .....	VIII-1
BAB IX PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA....	IX-1
BAB X KESIMPULAN.....	X-1
DAFTAR NOTASI.....	vii
DAFTAR PUSTAKA .....	viii
LAMPIRAN :	
APPENDIKS A .....	A-1
APPENDIKS B .....	B-1
APPENDIKS C .....	C-1

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Peta Paciran Kabupaten Lamongan, Jawa Timur .....	I-5
<b>Gambar 2.1</b>	Pembuatan <i>Base Oil</i> dengan Proses <i>Solvent Refined</i> .....	II-1
<b>Gambar 2.2</b>	Base Oil Group I.....	II-2
<b>Gambar 2.3</b>	Pembuatan <i>Base Oil</i> Proses <i>Combine Catalytic</i> .....	II-3
<b>Gambar 2.4</b>	Base Oil Grup II dan Exceed Grup II .....	II-3
<b>Gambar 2.5</b>	Pembuatan <i>Base Oil</i> dengan Proses <i>Hydrocracking</i> .....	II-4
<b>Gambar 2.6</b>	Base Oil grup III.....	II-4
<b>Gambar 2.7</b>	Pembuatan <i>Base Oil</i> dengan Proses <i>Polimerisasi Olefin</i> .....	II-5
<b>Gambar 2.8</b>	Base Oil grup IV .....	II-5
<b>Gambar 2.9</b>	Pembuatan <i>Base Oil</i> dengan Proses <i>Esterifikasi</i> .....	II-6
<b>Gambar 2.10</b>	Diagram alir macam proses .....	II-7
<b>Gambar 2.11</b>	Design KonversiLimbahPlastik.....	II-10



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1</b>	Data statistik Sampah plastik di Indonesia .....	I-3
<b>Tabel 1.2</b>	Data Ekspor-Impor Pelumas.....	I-4
<b>Tabel 1.3</b>	Data Statistka Produksi pelumas di Indonesia .....	I-4
<b>Tabel 1.4</b>	Perkembangan Pelumas di Indonesia .....	I-5
<b>Tabel 1.5</b>	Nilai masa depan Produksi, Kebutuhan, Ekspor, dan Impor Pelumas di Indonesia .....	I-5
<b>Tabel 1.6</b>	Komponen Pelumas dasar .....	I-6
<b>Tabel 1.7</b>	Klasifikasi base oil.....	I-7
<b>Tabel 1.8</b>	Jenis dan Penggunaan Plastik.....	I-9
<b>Tabel 1.9</b>	Karakteristik PE.....	I-11
<b>Tabel 1.10</b>	Sifat fisik dan kimia PE .....	I-11
<b>Tabel 1.12</b>	Karakteristik Base oil segi penggunaannya .....	I-13
<b>Tabel 1.13</b>	sifat fisik dan kimia (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ).....	I-13
<b>Tabel A.1</b>	Tabel Komposisi Produk Hasil Pirolisis pada T=524 °C A-1	
<b>Tabel A.2.</b>	Tabel Neraca Massa Shredder .....	A-2
<b>Tabel A.3.</b>	Tabel Neraca Massa Tangki Melting.....	A-3
<b>Tabel A.4.</b>	Tabel Neraca Massa Reaktor Pirolisis .....	A-4
<b>Tabel A.5.</b>	Tabel Data Komponen Feed Hidrocracking .....	A-5

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

#### **1.1.1 Sejarah**

Kebutuhan pelumas di Indonesia untuk mesin-mesin industri, kendaraan bermotor, perkapalan, alat-alat berat, mesin pertanian, pertambangan dan berbagai pelumasan mesin yang lainnya penggunaannya dalam jumlah yang terus meningkat. Pada awalnya, pelumas yang banyak digunakan adalah minyak mineral. Sampai dengan pertengahan abad-19 hampir seluruh pelumas menggunakan minyak dan lemak hewani atau nabati. Selanjutnya digunakan minyak mineral yang dimurnikan sebagai pelumas dasar karena mempunyai ketahanan termal dan oksidasi yang lebih baik dibandingkan dengan minyak nabati atau hewani. Sedangkan saat ini kebutuhan Bahan bakar minyak meningkat, untuk persediaannya semakin menipis.

Jika tidak ada perubahan pada pola konsumsi masyarakat terhadap bahan bakar minyak termasuk penggunaan pelumas dasar minyak mineral, dimana cadangan bahan bakar minyak diperkirakan akan habis kurang dari 200 tahun lagi. Pada kondisi demikian, apa pun yang diusahakan termasuk penghematan, efisiensi, dan penggunaan teknologi canggih untuk meminimalisir penggunaan bahan bakar yang tidak dapat diperbarui.

Keadaan ini memacu produksi pelumas sintetis dari minyak sintetis yang bahan dasarnya Polialphaolefin sebagai bahan dasar alternatif dalam pembuatan pelumas. Polyalphaolefin dibuat pertama kali di Jerman pada masa Perang Dunia Kedua untuk menghemat pemakaian minyak mineral. Dan ternyata memberikan unjuk kerja pada range temperatur yang luas. Dengan menggunakan pelumas dari bahan kimia yang mempunyai kemampuan lebih unggul dibandingkan dengan minyak mineral yang dimurnikan dalam semua sifat dasar. Maka muncul pelumas sintetis yang mempunyai sifat lebih unggul dibandingkan dengan minyak konvensional.



### 1.1.2 Alasan Pendirian Pabrik

Peningkatan pertumbuhan ekonomi serta populasi dengan segala aktivitasnya akan meningkatkan kebutuhan energi di semua sektor pengguna energi. Seperti halnya kebutuhan pelumas di Asia pada tahun 2005 kira-kira 5,4 juta Barrel per tahun, segmen pasar terbesar adalah minyak mesin dan minyak roda gigi otomotif, yaitu sebesar 450.000 ton per tahun, dan selanjutnya kebutuhan yang lain adalah untuk mesin hidrolik dan mesin industri (*Willing, 2001*).

Dengan perkembangan teknologi, minyak mineral yang dimurnikan tidak mampu melayani mesin-mesin dengan teknologi baru, maka dibutuhkan pelumas sintetis yang mampu melumasi mesin-mesin tersebut. Dewasa ini pelumas dasar sintetis ini lebih banyak digunakan karena umur pemakaian lebih lama, mengurangi konsumsi oli, mempunyai spesifikasi yang dibutuhkan pemakai, pengoperasian lebih aman dan sifat-sifatnya dapat diprediksi karena karakteristik produknya seragam (*Mulyana, 2003*).

Formulasi pelumas yang banyak digunakan adalah terdiri dari 70-90% pelumas dasar yang dicampur dengan bahan aditif untuk memodifikasi dan memperbaiki sifat-sifat alamiahnya (yaitu stabilitas terhadap oksidasi, hidrolisis, suhu, viskositas, indeks viskositas, dan korosi). Pelumas dasar yang paling banyak digunakan adalah minyak mineral yaitu campuran dari beberapa jenis hidrokarbon minyak bumi, minyak nabati, dan minyak sintetis, baik yang berasal dari minyak bumi maupun minyak nabati. Pelumas dasar sintetis yang berasal dari polyalphaolefin ini mampu menggantikan pelumas dasar mineral, karena polyalphaolefin merupakan cairan kimia murni yang dibuat dari polimerisasi katalitik ethylene. Produk yang dihasilkan dipisahkan dari komponen yang reaktif dan selanjutnya dipisahkan sesuai dengan viskositasnya. Dengan penambahan sedikit aditif antioksidan, polyalphaolefin menjadi lebih stabil bila dibandingkan dengan minyak mineral pada temperatur yang sama. Polyalphaolefin menunjukkan lebih tahan bereaksi dengan air bila



dibandingkan dengan minyak mineral dan minyak sintetis yang lain (Askew, 2004).

Meskipun harga pelumas dasar hasil sintetis ini lebih mahal daripada minyak mineral, namun minyak ini mempunyai sifat unggul dalam stabilitas termal, sifat alir, indek viskositas, dan stabilitas penguapan. Oleh karena itu pelumas dasar hasil sintetis akan memberikan kinerja yang baik dibandingkan dengan minyak mineral dan bahan bakunya yang cukup tersedia. Banyak minyak sintesis yang digunakan dalam aplikasi pelumas, misalnya sebagai aditif minyak sintetis, fluida transmisi, minyak motor 2 tak, minyak hidrolik, dan gemuk.

### 1.1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Sejak ditemukan pertama kali pada tahun 1907, penggunaan plastik dan barang-barang berbahan dasar plastik semakin meningkat. Peningkatan penggunaan plastik ini merupakan konsekuensi dari berkembangnya teknologi, industri dan juga jumlah populasi penduduk. Pada era modern ini plastik sangat dibutuhkan dalam menunjang kehidupan manusia. Peralatan dalam kehidupan manusia yang menggunakan bahan baku plastik diantaranya adalah peralatan mandi (ember, gayung, tempat sabun), peralatan makan dan minum (piring plastik, gelas plastik, kotak makan, botol minum), alat tulis (penggaris, kotak pensil) dan masih banyak lagi. Beberapa plastik yang biasa digunakan sebagai bahan baku adalah *PolyEthylene Terephthalate* (PET), *High Density PolyEthylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density PolyEthylene* (LDPE), *PolyPropylene* (PP). Jenis plastik yang sering ditemukan adalah PET yang digunakan sebagai bahan baku botol air mineral, LDPE yang digunakan sebagai bahan baku kantong kresek dan PP yang digunakan sebagai gelas air mineral.

Semakin banyaknya penggunaan plastik maka jumlah sampah plastik yang dihasilkan semakin meningkat sehingga perlunya dilakukan pengolahan terhadap sampah plastik tersebut. Masyarakat awam sering membakar sampah plastik untuk mengurangi jumlah sampah plastik di lingkungan padahal sampah



plastik yang dibakar akan menghasilkan gas hidrogen sulfida ( $H_2S$ ) yang dapat menjadi racun bagi lingkungan. Terlebih lagi apabila dalam kandungan sampah plastik terdapat senyawa klorida (Cl) yang dapat menghasilkan dioksin (penyebab kanker) apabila dibakar dengan suhu rendah. Pengolahan yang lainnya adalah dengan mendaur ulang sampah plastik dimana sampah plastik diolah dan dirubah menjadi menjadi bahan plastik yang baru. Namun proses daur ulang ini hanya akan merubah sampah plastik menjadi bentuk yang baru bukan menanggulangi banyaknya sampah plastik karena ketika produk daur ulang plastik sudah kehilangan fungsinya maka akan kembali menjadi sampah plastik. Sampah plastik yang berdampak negatif terhadap lingkungan yaitu tidak dapat terurai dengan cepat dan dapat menurunkan kesuburan tanah. Apabila sampah plastik yang dibakar bisa mengeluarkan zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Semakin meningkatnya sampah plastik ini akan menjadi masalah serius bila tidak diimbangi dengan solusi mengenai penanganan sampah plastik. Indonesia menjadi penyumbang sampah plastik kedua di dunia. Berikut **Tabel 1.1** data statistik Perkiraan bahan baku dan Kebutuhan Pelumas di Indonesia:

**Tabel 1.1** Data statistik Sampah plastik di Indonesia

Tahun	Jumlah Sampah plastik (Ton)
2011	3.700.000
2012	3.900.000
2013	4.100.000
2014	4.300.000
2015	4.500.000
2016	4.700.000

(Sumber: *Badan Lingkungan Hidup* (2016))

Berdasarkan asumsi Badan Lingkungan Hidup (BLH), setiap hari penduduk Indonesia menghasilkan 0,8 kg sampah per orang atau secara total sebanyak 189 ribu ton sampah/hari. Dari jumlah tersebut 15% berupa sampah plastik atau sejumlah 28,4 ribu ton sampah plastik/hari.



Melihat permasalahan diatas perlu adanya pengolahan dari limbah plastik yang semakin meningkat jumlahnya dan sulit terdegradasi. Maka, diperlukan alternatif baru untuk memenuhi kebutuhan pelumas. Dengan adanya pabrik Base Oil dari limbah plastik dengan proses *fast Pyrolysis* diharapkan dapat menyediakan kebutuhan pelumas di bidang otomotif tanpa menggunakan sumber daya yang tidak dapat diperbarui

#### 1.1.4 Kebutuhan Aspek Pasar

Untuk data ekspor-impor Minyak bumi dan gas yang ada di Indonesia dapat dilihat pada **Tabel 1.2** dibawah ini:

**Tabel 1.2** Data Ekspor-Import Pelumas

Tahun	Jumlah Ekspor (Ton)	Jumlah Import (Ton)
2011	239.631	310.296
2012	234.845	272.807
2013	253.683	255.437
2014	185.181	338.290
2015	155.923	255.878
Rata-Rata	213.853	286.541

(Sumber: Badan Pusat Statistik (2015)).

Dari data-data diatas maka dapat dilihat bahwa produksi pelumas di Indonesia masih rendah dengan jumlah rata-rata 213.853 ton/tahun untuk di ekspor ke luar negeri. Dengan demikian, untuk pelumas harus ditingkatkan, karena tidak bisa membeli dalam jumlah yang cukup banyak. Karena pada pasar pelumas dan minyak dunia mengacu pada nilai tukar mata uang asing yaitu dolar, seperti halnya yang pernah dilansir pada laman *Kemenperin.go.id* bahwa ekspor pelumas 1 ton atau setara dengan US\$ 1,2 juta. Kemudian dipaparkan lebih lanjut bahwa perdagangan pelumas di Indonesia mengalami defisit.

Sampai dengan saat ini penyediaan dan pelayanan pelumas, berdasarkan *Keppres RI Nomor 21 Tahun 2001 pada Bab I Pasal 1 Ayat 2*, dinyatakan bahwa “Penyediaan dan Pelayanan Pelumas adalah kegiatan untuk menghasilkan pelumas dengan cara



pabrikasi pelumas (*blending*), pengolahan pelumas bekas, impor pelumas dan pemasarannya” dan pada Bab III Pasal 6 Ayat 1 “ Dalam rangka memenuhi kebutuhan pelumas di dalam negeri, perusahaan dapat mengimpor pelumas berdasarkan ketentuan peraturan perundang-undangan”. Berikut data produksi dan kebutuhan pelumas di Indonesia

**Tabel 1.3** Data Statistka Produksi pelumas di Indonesia

Tahun	Produksi (ton)
2011	1.804,68
2012	2.728,91
2013	2.642,94
2014	2.401,41
2015	2.267,05

(Sumber:Badan Pusat Statistik(2015))

### 1.1.5 Kapasitas Pabrik

Penentuan kapasitas pabrik base Oil dari limbah plastik ditentukan berdasarkan ketersediaan bahan baku, produksi, serta ekspor dan impor. Ketersediaan limbah plastik di Indonesia sangat besar yang semakin meningkatnya pemakaian plastik oleh penduduk Indonesia. Berikut data perkembangan Pelumas di Indonesia

**Tabel 1.4** Perkembangan Pelumas di Indonesia

Tahun	Ekspor (Ton)	Impor (Ton)	Produksi (Ton)
2011	239.631	310.296	1.804,68
2012	234.845	272.807	2.728,91
2013	253.683	255.437	2.642,94
2014	185.181	338.290	2.401,41

(Sumber:Badan Pusat Statistik(2015))

**Tabel 1.5** Nilai masa depan Produksi, Kebutuhan, Ekspor, dan Impor Pelumas di Indonesia

Tahun	Ekspor (Ton)	Impor (Ton)	Produksi (Ton)
-------	--------------	-------------	----------------



2026	396.420	783.317	3.145,82
------	---------	---------	----------

Dari grafik, bahwa pada tahun 2026 kapasitas produksi di peroleh sebagai berikut:

♦ **Kebutuhan pasar :**

$$\begin{aligned} &= (\text{Impor} + \text{Produksi})_{2026} - (\text{Ekspor})_{2026} \\ &= 783.317,8 + 3.145,82 - 396.420 \\ &= 390.043,62 \text{ Ton/Tahun} \end{aligned}$$

♦ **Kapasitas Pabrik**

Dengan asumsi adanya pabrik lain yang masih beroperasi dan jumlah bahan baku yang tersedia, maka kapasitas pabrik baru yang akan beroperasi adalah 37% dari total kebutuhan Pelumas pada tahun 2026.

$$\begin{aligned} &= \text{Kebutuhan Pasar (Ton/Tahun)} \times 37\% \\ &= 390.043,62 \times 37\% \\ &= 144.316,14 \text{ Ton/Tahun} \end{aligned}$$

Jadi kapasitas dari pabrik base oil yang akan didirikan pada tahun 2026 adalah 145.000 Ton/Tahun dengan waktu kerja 330 hari.

### 1.1.6 Lokasi Pabrik

Kebutuhan minyak pelumas tiap tahun semakin meningkat meski tidak sebanding dengan jumlah produksi kendaraan bermotor. Sedangkan sumber daya alam yang tersedia terbatas. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi kelangkaan sumber daya alam yaitu minyak bumi maka perlu adanya bahan baku alternatif, maka pabrik base oil sintetis dari limbah plastik layak untuk didirikan.

Pabrik base oil dari limbah plastik ini direncanakan berdiri dipaciran, kabupaten Lamongan, Jawa Timur. Berikut alasan pemilihan lokasi Pabrik base Oil:

1. Kawasan Industri

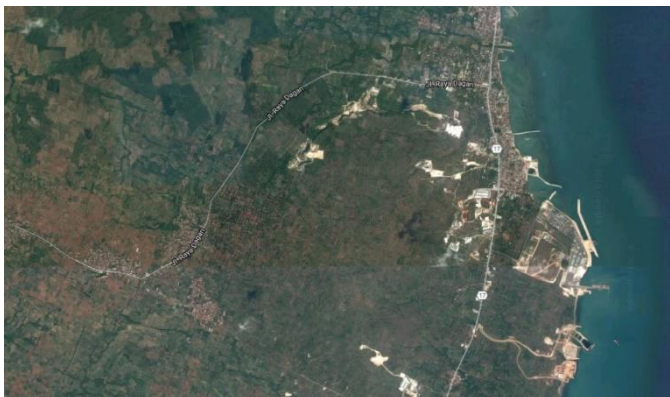
Pabrik berada di kawasan Industri sehingga tidak terlalu mencemari lingkungan, serta untuk keluar dan masuk bahan baku utama, bahan baku pendukung, maupun produk lebih mudah aksesnya yang berada pada jalur pantura yang merupakan jalur utama di Pulau Jawa.





## 2. Lokasi Strategis

Adanya lahan kosong sebagai tempat pendirian pabrik yang dekat dengan pelabuhan di Paciran untuk memudahkan transportasi laut dan darat. Selain itu membantu penduduk sekitar dalam mencari pekerjaan.



**Gambar 1.1** Peta Paciran Kabupaten Lamongan, Jawa Timur

## 1.2 Dasar Teori

### 1.2.1 Pengertian Base Oil

Base oil adalah bahan dasar untuk pembuatan pelumas yang memiliki bentuk kental. Pembuatan base oil bermacam-macam seiring dengan teknologi yang tersedia dan bahan baku yang tersedia. Salah satunya base oil didapat melalui proses penyulingan minyak mentah (*crude oil*) dan memiliki beberapa tingkatan kualitas, sehingga beda proses dan peralatan penyulingan akan didapat hasil yang berbeda juga. Komposisi pelumas mesin dapat ditunjukkan pada **Tabel 1.7** Komponen Pelumas dasar yang umumnya terdiri dari 3 komponen dan 75%-nya merupakan pelumas dasar.

**Tabel 1.6** Komponen Pelumas dasar



Komponen	Fungsi
Pelumas dasar 75%	Memberi sifat-sifat pelumas
Peningkat Indeks Viskositas 5%	Memberikan sifat Multigrade
Bahan Tambahan	Meningkatkan kinerja dan sifat pelumas dasar

(Sumber: Gerard (2000))

Berdasarkan asalnya, umumnya terdapat dua jenis Base Oil yang sering digunakan yaitu Mineral Base Oil dan *Synthetic* Base Oil. Mineral Base Oil terbuat dari minyak mentah (*crude oil*) yang telah melewati proses pemurnian. Sedangkan *Synthetic* Base Oil, sesuai namanya, berasal dari produk petrokimia yang dibuat oleh manusia seperti misalnya PAO, PAG, atau ester. Base Oil sintetik bermutu tinggi memiliki paket additif khusus yang memberikan daya *detergency*, *dispersancy*, anti *oxidant*, anti *rust*, dan anti *wear* yang amat tinggi dimana berfungsi memberikan perlindungan prima terhadap *wear* (keausan), *scuffing* dan *seizure* serta menjaga mesin tetap prima meskipun dalam kondisi berat (William, 2013).

Secara khusus pada konteks tertentu selain mineral dan sintetis terdapat pula yang disebut dengan Semi-*Synthetic* Base Oil dan *Vegetable* Base Oil. Pelumas semi sintetis adalah pelumas yang terbuat dari kombinasi bahan dasar mineral dengan bahan dasar sintetik. Sedangkan *Vegetable* Base Oil merupakan pelumas yang terbuat dari bahan dasar nabati atau tumbuh-tumbuhan. Menurut American Petroleum Institute's (API) mengklasifikasikan base oil menjadi 5 kelompok besar yang ditunjukkan pada **Tabel 1.7** klasifikasi base oil.

**Tabel 1.7** klasifikasi base oil

Group	Karakteristik Base Oil		
	Sulfur Wt, %	Saturates Wt, %	Indeks Viskositas VI
I	> 0,03	< 90	80-119
II	< 0,03	> 90	80-119
III	< 0,03	> 90	120+



IV	Polyalpha Olefins (PAOs)
V	Base Oil yang lain

### 1. Group I, II & III : Minyak Mineral

Mineral Base Oil atau base oil konvensional merupakan bahan dasar pelumas yang diproduksi dengan *Solvent Refining* pada Group I dan Teknologi *Hydrocracking* pada group II dan III. Base oil ini merupakan hidrokarbon yang mengalami serangkaian proses pemurnian dan dapat digolongkan menjadi empat jenis, yaitu parafin, olefin, naftanik dan aromatik. Kandungan lain dalam minyak mineral adalah sulfur, nitrogen dan logam. Pelumas ini ramai digunakan sebelum bahan sintetis ditemukan. Seiring dengan perkembangan zaman, pemurnian Mineral Base Oil telah melewati banyak perkembangan dan produk yang dihasilkan semakin baik. Pada group I mempunyai % berat Sulfur  $>0,03$  sedangkan group II dan III memiliki % berat  $<0,03$  serta lebih murni dari pada Group I Keunggulan penggunaan minyak mineral sebagai base oil adalah:

1. Harga murah
2. Daerah suhu operasi lebar, meliputi seluruh pemakaian dalam industri, mesin-mesin transportasi, alat-alat berat lain
3. Penambahan bahan aditif dapat meningkatkan mutu dan kinerja
4. Stabil selama penyimpanan

Walaupun begitu, tergantung dari tingkat pemurniannya, Mineral Base Oil masih dapat menghadapi risiko ukuran molekul yang tidak konsisten, kelemahan rantai tidak jenuh, adanya konten Sulfur dan Aromatik, Indeks Viskositas yang rendah, menciptakan endapan, dan kekuatan film yang rendah. Minyak bumi bersifat tidak terdegradasi karena mengandung senyawa aromatik dan racun.



## 2. Group IV: Minyak Sintetis

Pelumas sintetis adalah pelumas yang dibuat dengan proses kimiawi dengan menggabungkan beberapa bahan aditif. Pada awalnya, pelumas yang digunakan pada kendaraan tempo dulu adalah berasal dari minyak bumi, pada perkembangannya tidak mampu melayani mesin-mesin dengan teknologi tinggi maka dilakukan penambahan bahan aditif. Selanjutnya, hasil penelitian menunjukkan bahwa pelumas konvensional dari minyak bumi yang telah ditambah dengan bahan aditif, tidak mampu mendukung kinerja mesin baru, maka dilakukan penggantian dengan bahan lain yang bukan berasal dari minyak bumi. Bahan ini merupakan bahan kimia yang memiliki kemampuan lebih unggul daripada minyak mineral dalam semua sifat dasar yang diperlukan, maka terbentuklah pelumas sintetis (*Nugroho, 2005*).

Pelumas sintetis dapat dikelompokkan dalam dua kelas, yaitu ester organik dan hidrokarbon yang diolah secara sintetis, baik yang berasal dari petrokimia maupun oleokimia. Beberapa pelumas dasar sintetis adalah Polialfaolefin (PAO), ester sintetis, seperti monoester, diester, esterphthalat, poliolester (POE), dan ester kompleks dan polialkilenglikol (PAG), yaitu polimer petrokimia hasil reaksi antara etilen oksida dan propilen oksida (*Askew, 2004*).

Sebelumnya Polyalphaolefin dibuat pertama kali di Jerman pada masa Perang Dunia Kedua untuk menghemat pemakaian minyak mineral. Dan ternyata memberikan unjuk kerja pada range temperatur yang luas. Polyalphaolefin merupakan hidrokarbon sintetis, tidak seperti hidrokarbon pada minyak pelumas mineral. Karena polyalphaolefin merupakan cairan kimia murni yang dibuat dari polimerisasi katalitik ethylene. Produk yang dihasilkan dipisahkan dari komponen yang reaktif dan selanjutnya dipisahkan sesuai dengan viskositasnya.



Dengan penambahan sedikit aditif antioksidan, polyalphaolefin menjadi lebih stabil bila dibandingkan dengan minyak mineral pada temperatur yang sama. Polyalphaolefin menunjukkan lebih tahan bereaksi dengan air bila dibandingkan dengan minyak mineral dan minyak sintesis yang lain. Polyalphaolefin juga sangat cocok bila diblending dengan minyak mineral. Sifat PAO yang menonjol adalah sebagai berikut :

- Titik tuangnya rendah
- Volatilitasnya rendah
- Stabilitas thermalnya bagus
- Daya pelumasannya bagus

### **3. Group V: Minyak Nabati**

Base Oil yang berasal dari minyak nabati, misalnya minyak kedelai, minyak sawit, minyak kelapa, minyak biji bunga matahari dan minyak biji jarak. Jika minyak nabati dibandingkan dengan minyak mineral sebagai minyak pelumas dasar, terdapat beberapa keunggulan, yaitu

1. tingginya kemampuan pelumasan
2. tingginya indeks viskositas
3. rendahnya kehilangan minyak karena penguapan
4. tingginya kemampuan terdegradasi
5. rendahnya kandungan racun.

Minyak nabati sebagai base oil mempunyai keterbatasan, yaitu rendahnya stabilitas termal, hidrolitik, dan oksidatif, karena mengandung asam lemak tidak jenuh. Kelemahan ini dapat diatasi dengan memodifikasi minyak tersebut dengan menambahkan bahan aditif (USB 1997).

#### **1.2.2 Plastik**

Plastik adalah senyawa polimer yang terbentuk dari polimerisasi molekul-molekul kecil (monomer) hidrokarbon yang



membentuk rantai yang panjang dengan struktur yang kaku. Plastik merupakan senyawa sintesis dari minyak bumi (terutama hidrokarbon rantai pendek) yang dibuat dengan reaksi polimerisasi monomer yang sama sehingga terbentuk rantai panjang dan kaku dan akan menjadi padat setelah temperatur pembentukannya (Wardania, 2009).

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu thermoplastik dan termosetting. Thermoplastik adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan termosetting adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan (Surono, 2013).

Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, thermoplastik adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis-jenis plastik yang paling sering diolah adalah *polyethylena* (PE), *polypropylene* (PP), *polistirena* (PS), *polyethylene terephthalate* (PET) dan *polyvinyl chloride* (PVC). Berikut **Tabel 1.9** jenis dan penggunaan plastik:

**Tabel 1.8** Jenis dan Penggunaan Plastik

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	PET ( <i>polyethylene terephthalate</i> )	Botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik
2	HDPE ( <i>High-density Polyethylene</i> )	Botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas dan botol kosmetik
3	PVC ( <i>Polyvinyl Chloride</i> )	Pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja plastik, botol shampo



4	LDPE ( <i>Low-density Polyethylene</i> )	Kantong kresek, tutup plastik
5	PP ( <i>Polypropylene</i> )	Cup plastik, tutup botol plastik
6	PS ( <i>Polystyrene</i> )	Kotak Cd, sendok dan garpu plastik
7	Other (O), selain no.1 hingga 6	Gallon air minum, suku cadang mobil

(Sumber: Kurniawan (2012))

### 1.3 Kegunaan

Base Oil adalah bahan dasar untuk pembuatan pelumas yang memiliki bentuk kental. Pada formulasi pelumas, 70-90 % campuran merupakan minyak pelumas dasar (Base Oil) dan ditambah dengan bahan aditif untuk meningkatkan sifat-sifatnya. Minyak pelumas (oli) merupakan salah satu bagian yang terpenting dalam mesin piston (motor bakar) atau mesin-mesin dimana terdapat komponen yang bergerak, seperti *shaft*, *bearing* dan *gear*. Hal ini karena oli berfungsi sebagai pelumas pada permukaan komponen yang saling bersentuhan. Dengan adanya pelumas, energi yang terbuang karena gesekan menjadi minimal dan dengan demikian usia pakai komponen menjadi bertambah. Fungsi oli yang lain adalah sebagai pendingin dari efek panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan dari gesekan antara komponen.

Salah satu fungsi pelumas adalah mencegah korosi (corrosion inhibitor). Proses pembakaran normal akan menghasilkan air dan asam dan ketika mesin telah dingin bisa ditemukan dalam saluran mesin, sehingga pelumas mesin perlu ditambahkan dengan bahan penghambat korosi yaitu campuran organik dari fosfor dan belerang yang dapat mencegah kecenderungan pembakaran yang menyebabkan korosi pada permukaan logam misalnya pada dinding silinder dan mencegah kerusakan bantalan-bantalan utama khususnya yang dibuat dari paduan timah-perunggu.



Base Oil dikelompokkan menjadi 3 yaitu minyak Mineral, minyak nabati, dan minyak sintetis. Base oil yang berasal dari minyak sintetis mempunyai keunggulan yang lebih dari pada minyak mineral dan nabati. Berikut keunggulan yang dimiliki base oil dari sintetis :

- Titik tuangnya rendah yang merujuk pada sifat alir pelumas mampu digunakan pada suhu yang rendah serta dapat bertahan pada temperatur dan tekanan yang tinggi
- Volatilitasnya rendah, kemampuan penguapan pelumas yang stabil
- Stabilitas thermalnya bagus
- Daya pelumasannya bagus
- Indek viskositas

Oleh karena itu pelumas dasar hasil sintetis akan memberikan kinerja yang baik dibandingkan dengan minyak mineral dan bahan bakunya yang cukup tersedia

## 1.4 Sifat Fisik dan Kimia

Sifat fisik dan kimia dari bahan baku akan mempengaruhi dan menentukan proses yang akan digunakan sehingga perlu seleksi dan mengetahui sifat fisik dan kimia bahan baku dan bahan pendukung.

### 1.4.1 Bahan baku utama

Bahan baku utama yang digunakan adalah bahan sintetis yaitu limbah plastik. Khususny limbah plastik jenis HDPE dan PET. Berikut dijelaskan komposisi bahan baku:

- ◆ Karakteristik bahan baku  
Pada limbah plastik jenis PE mempunyai jumlah rantai cabang yang lebih sedikit dibanding jenis plastik yang lain misalnya PE.

**Tabel 1.9** Karakteristik PE

Parameter	Keterangan
Nama kimia	Polyethylen





Trade Name	PE
Sinonim	Polyethylen
Rumus Molekul	$(C_2H_4)_n$

**Tabel 1.10** Sifat fisik dan kimia PE

Parameter	Keterangan
Fisik	Padat
Melting Point	100-135°C (212-275°F)
Specific Gravity	0,94-0,958
pH	-

### 1.4.2 Bahan baku Pendukung

Berikut ini dijelaskan beberapa bahan baku pendukung pembuatan base oil.

#### a) Silica Alumina

Silica Alumina digunakan sebagai katalis dalam hidromerisasi. Berikut sifat fisik dan kimia Silica Alumina :

- Vapour Pressure : -
- Spesifik Gravity ( $H_2O=1$ , at 4°C) : 1,0 - 1,2
- Densitas : -
- Kelarutan dalam air : Tidak Larut
- Freezing/Melting Point : -

#### b) Hidrogen

Hidrogen ditambahkan pada reactor hidroisomerisasi untuk mengkondisikan keadaan jenuh pada proses hidroisomerisasi. Berikut sifat fisik dan kimia:

- Bentuk : Gas
- Berat Molekul : 2g/mol
- Melting Point : -259,2 °C
- Critical Temperature : -239,9 °C



- Densitas :0,089 g/L(1 atm)

### c) Dowtherm A

Dowtherm A sebagai fluida pendingin yang terdiri dari campuran biphenyl ( $C_{12}H_{10}$ ) dan diphenyl Oxide ( $C_{12}H_{10}O$ ) yang dapat digunakan dalam fase liquid dan Vapor hingga mencapai suhu  $400^{\circ}C$ . Berikut sifat fisik dari Dowtherm A:

- Freezing Point :  $12^{\circ}C$
- Flash Point :  $113^{\circ}C$
- Critical Temperature :  $497^{\circ}C$
- Molecular Weight (Avg) : 166
- Density@  $25^{\circ}C$  :  $1056 \text{ kg/m}^3$

### 1.4.3 Produk

- ♦ Produk Utama Berikut karakteristik base oil pelumas:

**Tabel 1.12** Karakteristik Base oil segi penggunaannya

Parameter	Base Oil
Viscosity Kinematic at $40^{\circ}C$ , cSt	25,43
Viscosity Kinematic at $100^{\circ}C$ , cSt	5,416
Viscosity Index	156
Density $15^{\circ}C$ , Kg/l	0,8904
Colour ASTM	Light Blue
Cloud Point, $^{\circ}C$	9
Pou Point, $^{\circ}C$	-37
Gravity, API	42,7
Sulfur, ppm	<1,5

(Miller, 2005)

- ♦ Produk sampling

Produk sampling yang dihasilkan dari pabrik base oil dari limbah plastik berupa gas ( $C_3H_8$ ) dimana gas ini



digunakan kembali sebagai bahan bakar proses, pada light Oil menghasilkan gasoline. Berikut sifat fisik dan kimia ( $C_3H_8$ ) :

**Tabel 1.13** sifat fisik dan kimia ( $C_3H_8$ ) :

	$C_3H_8$
Bentuk Fisik	Gas
Tampilan	Tidak berwarna
Berat Molekul	44 g/mol
pH	-
Melting point	-
Freezing point	-187 °C
Boiling point	-42,1 °C
Flash point	-104,4 °C
Critical temperature	96,8 °C
Flammability (solid, gas)	2,1 – 9,5 vol %

Sifat fisik dan Kimia Gasoline :

- ◆ Boiling range : 39 to 200 °C
- ◆ Vapor pressure : 275-475 mm hg @ 68 of (20 °C)
- ◆ Specific gravity ( $H_2O = 1$ ) : 0.70 – 0.78
- ◆ Percent Volatiles : 100%

## **BAB II**

### **MACAM DAN URAIAN PROSES**

#### **2.1 Macam Proses**

Terdapat lima macam kategori base oil dimana dalam satu kategorinya membutuhkan cara yang berbeda untuk menghasilkan base oil. Macam-macam proses untuk menghasilkan base oil sebagai berikut:

- a) *Solvent Refined/freezing*
- b) *Combine catalytic and Hydrocracking*
- c) *Hydrocracking* dan penambahan polimer
- d) Polimerisasi
- e) *Esterifikasi*
- f) *Pyrolysis*

##### **2.1.1 Proses *Solvent Refined/Freezing***

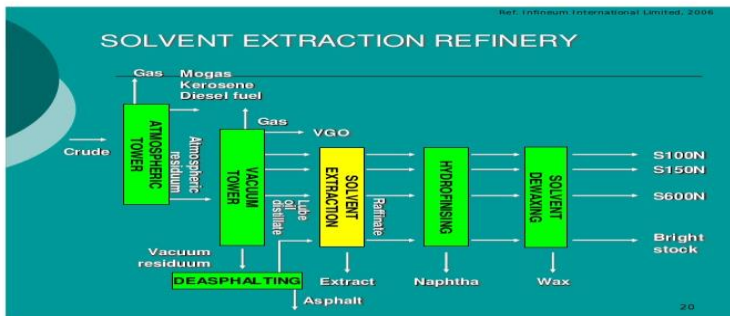
Proses ini ditemukan tahun 1930 oleh perusahaan Chevron menggunakan proses dasar dari penyulingan minyak mentah, yaitu:

- 1) Pre-heater
- 2) Distillation Atmosferik (tekanan atmosferik) menghasilkan  $C_1 \rightarrow C_{30}$  dan residu
- 3) Distillation vakum (tekanan dibawah kondisi atmosferik) untuk mengolah *heavy oil* dan residu.
- 4) Ekstraksi solvent: Awalnya, ekstraksi digunakan untuk meningkatkan kualitas kerosin, akan tetapi pada perkembangannya proses ini lebih banyak digunakan untuk meningkatkan kualitas minyak pelumas. Minyak pelumas digunakan untuk melapisi dua permukaan keras yang bergesekan memperkecil kerusakan dan kehilangan *energy*. Bahan baku minyak mentah adalah friksi minyak mentah dengan titik didih diatas  $500^{\circ}\text{C}$ . Dalam fraksi tersebut juga terdapat lilin, aspal dan senyawa polisiklis



jika berada dalam jumlah yang cukup dapat mengganggu sehingga harus dihilangkan. Penghilangan zat-zat tersebut dilakukan dengan dewaxing, prophase *deasphalting* dan fulfural *extraction*.

- 5) Dewaxing: Pada proses ini, minyak didinginkan (*chilled*) untuk mengkristalkan lilin. Pemisahan lilin dari minyak dilakukan dengan penyaringan dan pengendapan. Proses yang lain adalah dengan menggunakan pelarut selektif yang dapat melarutkan stok minyak dan menolak lilin. Senyawa yang sering digunakan untuk melakukan proses ini adalah metil etil keton, propan atau urea.



### Gambar 2.1 Proses *Solvent Refined*

Base oil ini 90% jenuh terdiri atas  $>0,3\%$  *sulphur* dan memiliki *viscosity index*  $80<120$ . Base oil jenis ini dijual dengan nama grup 1 *solvent refined base oil* dengan ciri-ciri sebagai berikut:

1. Warna kuning pekat meski pada kualitas terbaiknya
2. Bau menyengat khas minyak
3. Kadar *sulphur* dan logam berat lainnya masih tinggi



**Gambar 2.2** Base Oil Group 1

### 2.1.2 *Combine Catalytic dan Hidrocracking*

Kedua proses ini ditemukan pertama kali dari hasil eksperimen seorang ilmuwan di Chevron pada tahun 1951. Uraian proses ini adalah sebagai berikut:

1. *Combine catalytic* yaitu dengan mengkombinasikan mayoritas *solvent refined* base oil kualitas terbaik dengan minoritas *sintetic* base oil dengan dibantu penambahan katalis *hydrogen* untuk pemurnian.
2. *Hydrocracked* base oil: memiliki standar kualitas *exceed*. Menggunakan minyak mentah kualitas baik, melalui tujuh tahap penyulingan yang presisi dan dimurnikan dengan gas hydrogen tekanan tinggi sehingga menghasilkan base oil yang tidak berwarna, tidak berbau dan lebih stabil karena hampir tidak mengandung sulfur dan unsur logam berat lainnya.

Proses yang digunakan yaitu:

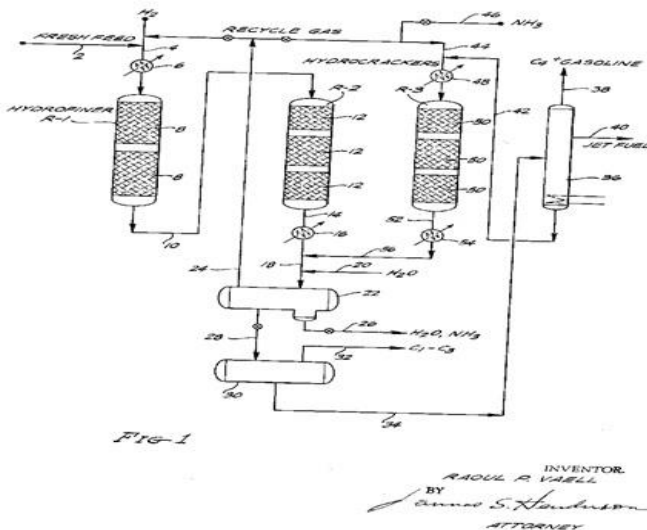
- 1) Pre-heater
- 2) Distilasi atmosferik
- 3) Distilasi vakum





### 2.1.3 Hidrocracking dan Penambahan Polimer

Base oil yang didapat dari proses perengkahan (*hydrocracking*) minyak mentah pada saat penyulingan ditambahkan sedikit bahan sinteti. *Hydrocracking* yaitu proses untuk mengubah bahan dasar yang tidak dapat dipergunakan sebagai umpan unit perengkahan dan reformasi katalisis karena kandungan logam, nitrogen dan sulphur yang tinggi. Base oil yang ditambahkan bahan sintetik maka akan disebut sintetik selama masih memiliki sifat sintetik. Base oil disuling secara cermat dan sangat presisi serta meelalui proses sintesa / polimerisasi ssehingga base oil yang dihasilkan sangat jernih, tidak berbau, lebih mmurni dan partikel molekulernya stabil angan sifat sifat yang dapat diprediksi sesuai kebutuhan.



**Gambar 2.5** Proses *Hidrocracking* dan Penambahan Polimer





**Gambar 2.6** Base Oil Grup III

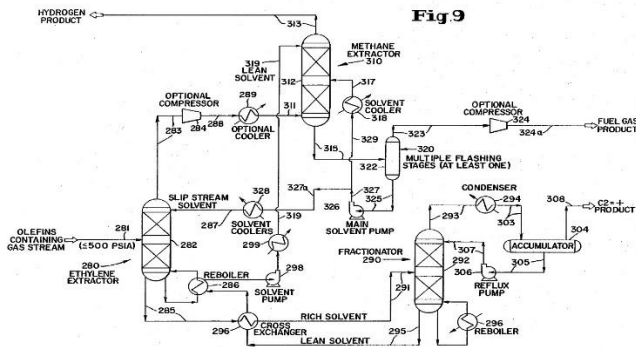
Keuntungan produk *hydrocracked*:

- 1) Meningkatkan kestabilan pada suhu tinggi dan oksidasi
- 2) *Viscosity index* tinggi
- 3) *Pour point* rendah
- 4) Pumpability lebih baik

Base oil ini 90% jenuh terdiri atas 0,3% sulfur dan memiliki *viscosity index* 120. Base oil yang diproses dengan cara *hydrocracking* dan penambahan polimer dijual dengan nama grup III yaitu *High Viscosity Index (HVI) Synthetic Base Oil*.

#### 2.1.4 Polimerisasi

Dengan perkembangan proses perengkahan yang menghasilkan produksi gas ringan yang kaya akan olefin aktif, diciptakan proses-proses baru untuk memanfaatkannya. Polimerisasi atau proses kombinasi molekul adalah reaksi penggabungan olefin yang satu dengan olefin lainnya. Teknologi ini ditemukan pada tahun 1970 oleh ilmuwan yang bernama Dr.Z.A Wizman dari Exxon Mobile.



**Gambar 2.7** Proses Polimerisasi Olefin

Base oil yang diproses 100% dari olefin dan oleh karena itu jenis base oil ini adalah grup IV *poly alpha olefin* (PAO) *synthetic* base oil.



**Gambar 2.8** Base Oil Grup IV

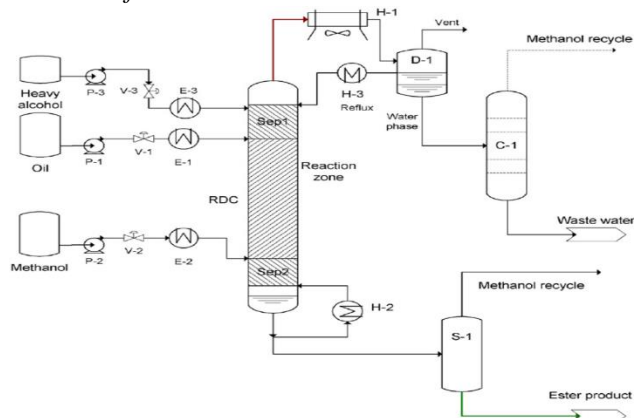
### 2.1.5 Esterifikasi

Proses ini ditemukan oleh sebuah perusahaan yang bergerak di bidang pertanian yang berada di Australia bernama Agri-Tech pada tahun 1997. Proses ini menggunakan bahan baku yang berasal dari



minyak nabati atau ester yang didapat dari biji-bijian. Tahapan-tahapan dalam menghasilkan base oil dari minyak nabati atau ester sebagai berikut:

- 1) Additive technology yaitu dengan menambahkan additive yang berfungsi untuk menaikkan *additive* yang berfungsi untuk menaikkan kualitas dari base oil tersebut.
- 2) Oil treatment : *chemical transformation* and *polymerization*
- 3) *Transesterification*
- 4) *Genetic modification*



### Gambar 2.9 Proses Esterifikasi

Hasil base oil dari proses esterifikasi ini dikategorikan dalam base oil grup V Base oil.

### 2.1.6 Pirolisis

Proses yang paling baru ini ditemukan oleh Stephen J. Milner seorang peneliti dari Chevron pada tahun 2005. Stephen mengungkapkan hasil eksperimennya bahwa limbah plastik (seperti PE yang dicontohkan) dapat dijadikan sebagai base oil pelumas. Ternyata, ketika polietilena dipanaskan akan



terbentuk suatu senyawa hidrokarbon cair. Senyawa ini mempunyai bentuk mirip lilin (wax). Banyaknya plastic yang terurai adalah sekitar 60%, suatu jumlah yang cukup banyak. Struktur kimia yang dimiliki senyawa hidrokarbon cair mirip lilin ini memungkinkannya untuk diolah menjadi minyak pelumas berkualitas tinggi. Sifat kimia senyawa hidrokarbon cair dari hasil pemanasan limbah plastic mirip dengan senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam minyak mentah sehingga dapat diolah menjadi minyak pelumas dasar atau base oil. Pengubahan hidrokarbon cair hasil pirolisis limbah plastic menjadi minyak pelumas menggunakan metode *hydrocracking* dan *hydroisomerisasi*. Proses Pengolahan limbah plastik menjadi minyak pelumas dasar meliputi beberapa tahapan proses, yaitu :

1) Pre-treatment

Proses ini meliputi pemilihan plastic (PE) yang layak untuk diproses, *size reduction* dan melting pada  $T=260^{\circ}\text{C}$ .

2) Proses Pirolisis

Teknologi ini adalah teknik pembakaran limbah *plastic* tanpa  $\text{O}_2$  pada suhu tinggi. Teknik ini mampu menghasilkan gas pembakaran yang berguna dan aman bagi lingkungan. Pirolisis ini dibedakan pada dua kondisi yaitu pada suhu  $524^{\circ}\text{C}$  dan  $740^{\circ}\text{C}$  untuk mengetahui pada kondisi mana yang menghasilkan base oil paling banyak serta menghasilkan produk samping gas  $\text{C}_1\text{-C}_4$  dan bensin.

3) Proses *Hydroprocessing*

---



Proses ini terdiri atas *hydrocracking* yaitu proses untuk mengubah bahan dasar yang tidak dapat dipergunakan sebagai umpan unit perengkahan proses hidrogenasi untuk mengubah sebagian struktur molekul limbah *plastic* menjadi isomer yang memiliki viskositas tinggi. Reaksi ini tidak menyebabkan perubahan berat molekul dan dikondisikan dalam keadaan jenuh *hydrogen* yang dilengkapi dengan katalis khusus.

- 4) Distilasi complex (atmosferik dan vakum).

## II.2 Seleksi Proses

Proses untuk mendapatkan base oil pelumas cukup banyak dan menghasilkan *product* samping berupa gas dan bensin. Sedangkan untuk mendapatkan base oil cukup banyak diantaranya *solvent refining*, *combine catalytic*, *hydrocracking*, polimerisasi, esterifikasi, dan *pyrolysis*. Untuk mendapatkan base oil menggunakan proses *solvent refining*, *combine catalitik* dan *hydrocracking* menggunakan minyak mentah sebagai bahan baku padahal cadangan minyak bumi semakin berkurang dari tahun ke tahun. Pada proses esterifikasi menggunakan minyak nabati atau senyawa ester tumbuh tumbuhan. Hal ini tidaklah terlalu efektif karena berdasar industrinya yang telah berproduksi menggunakan soyben oil (minyak kedelai) sebagai pelumas padahal kedelai mempunyai protein yang tinggi untuk dikonsumsi. Bertambahnya permintaan akan pelumas dan menipisnya bahan baku (minyak mentah) untuk saat ini dan esok hari, maka proses yang paling efektif digunakan adalah *pyrolysis*. *Pyrolysis* atau proses pembakaran tanpa menggunakan oksigen adalah cara yang paling efektif dikarenakan bahan baku yang digunakan untuk membuat

---



pelumas tidak lagi berasal dari minyak mentah melainkan limbah plastic (khususnya HDPE dan PET) yang sangat berlimpah.

Pirolisis ini dilakukan dengan kondisi yang berbeda untuk mengetahui kualitas dari hasil atau produk yang dihasilkan. Kondisi operasi tersebut adalah dengan temperatur 740°C dan 524 °C. Hasil dari pirolisis ini merupakan gas yang aman bagi lingkungan dan produk lain dari proses pirolisis ini adalah berupa arang. Berikut ini merupakan hasil eksperimen dari pirolisis pada temperatur 740°C dan 524 °C.

**Tabel 2.2** Tabel Hasil Pirolisis berbagai Macam Suhu

Temperatur (°C)	Gas yang dimasukan	Produk
440-550	<i>Nitrogen, steam, cycle pyrolysis gas</i>	70-90% <i>waxy product/oil</i> , 2-9% gas
550-700	Steam	60-70% oil and aliphatics, 30-40% gas
700-800	Nitrogen, Steam	70-80% <i>gas, mainly ethylene and propane</i> , 20-30% oil
700-800	Cycle pyrolysis gas	30-50% <i>aromatics</i> , 30-55% gas, 1-10% shoot

(*Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastic*, W. Kaminsky 2006)

Berdasarkan dari data diatas maka didapat kekurangan dan kelebihan pada tiap kondisi proses pyrolysis pada temperature 524 °C dan 740 °C.

**Tabel 2.3** Tabel Perbandingan Tiap Kondisi Proses Pada Proses Pyrolysis



Kondisi Operasi	Kekurangan	Kelebihan
T=524°C	<ul style="list-style-type: none"><li>• Perlu dilakukan preheated pada feed (lelehan).</li><li>• Panas yang diperlukan lebih besar dari suhu proses karena dilakukan secara indirect.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Temperatur Proses tidak terlalu besar.</li><li>• Banyak menghasilkan C<sub>4</sub> dan C<sub>5</sub> sehingga lebih berpotensi untuk diolah menjadi base oil pelumas dengan hydroprocessing.</li></ul>
T=740 °C	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sebagian besar produk yang dihasilkan merupakan gas gas methane.</li><li>• Temperatur yang digunakan cukup tinggi sehingga memerlukan biaya besar</li><li>• Menghasilkan debu dan carbon black</li><li>• Terdapat 11,3% senyawa yang tidak diketahui jenisnya</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Menghasilkan senyawa aromatic (42,5%)</li></ul>

(Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastic, W. Kaminsky 2006)

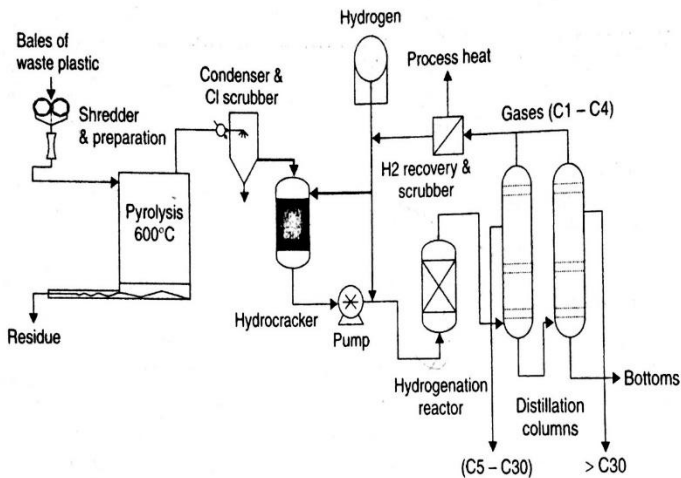
Dari **tabel 2.2** dan **tabel 2.3** diatas dapat dipertimbangkan kondisi proses manakah yang lebih menguntungkan untuk dipilih sebagai proses pemanfaatan limbah plastik menjadi produk dengan nilai jual yang lebih



tinggi. Dapat disimpulkan bahwa kondisi proses yang digunakan pada suhu  $524^{\circ}\text{C}$  dengan pertimbangan bahwa dengan kondisi proses ini lebih banyak senyawa yang dihasilkan dapat diolah menjadi base oil pelumas.

### II.3 Uraian Proses terpilih

- a) Proses Pre-Treatment
- b) Proses *Pyrolysis*
- c) *Hydroprocessing*
  - *Hydrocracking*
  - *Hydrogenasi*
- d) Distilasi Kompleks



(*Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastic*, W. Kaminsky 2006)

**Gambar 2.11** Design Konversi Limbah Plastik Menjadi Base oil dan Gasoline





### II.3.1 Proses Pre-Treatment

Limbah Plastik (PE) yang telah dibersihkan dari zat-zat pengotor (seperti debu, tanah dan logam) kemudian ditimbun di open yard yang selanjutnya dimasukan dalam shredder untuk di size redcing hingga ukuran kasar ( $\pm 10 \text{ mm}^2$ ) dengan menggunakan elevator. Cacahan *plastic* dari grinder dipindahkan ke tangki penyimpanan dengan menggunakan *elevator* sebelum masuk tangki melting. Proses pre-treatment ini berlangsung secara *batch*. Limbah plastic yang telah di *size reducing* dan jumlahnya memenuhi kapasitas dimasukan dalam tangki melting. Dalam tangki ini terjadi proses pelelehan cacahan *plastic* menjadi lelehan PE hingga suhu  $260^\circ\text{C}$  dengan viskositas yang tinggi tanpa mengalami reaksi kimia. Tangki *melting* dilengkapi dengan stirrer agar pelelehannya lebih sempurna. Panas dalam tangki *melting* berasal dari *steam downthem* ( $400^\circ\text{C}$ ) yang dimasukan dalam *jacket* tangki.

### II.3.2 Proses Pirolisis

Setelah melalui tahap *pre-treatment* lelehan tersebut dialirkan ke furnace yang berfungsi sebagai reactor pirolisis. Dengan menggunakan pompa *sentrifugal Parkr Hannifin Zenith*, lelehan *plastic* dialirkan ke *reactor furnace coil stainless steel* berpengaduk pada *temperature*  $524^\circ\text{C}$  dan menghasilkan senyawa gas, oil dan senyawa lain yang berupa distilat yang mempunyai boiling point  $385^\circ\text{C}$ . Ruang pembakaran dengan suhu  $524^\circ\text{C}$  menggunakan bahan bakar yang berasal dari top produk distilasi 1. Hasil pirolisis ini didinginkan dengan menggunakan kondesor ( $524^\circ\text{C}$ - $480^\circ\text{C}$ ) dan quenching ( $480^\circ\text{C}$ - $400^\circ\text{C}$ ).



### II.3.3 Proses *Hydroprocessing*

*Hydroprocessing* merupakan proses yang sering atau umum dipakai dalam pengolahan minyak bumi, dimana dalam proses ini dilakukan pemurnian minyak bumi. Pabrik base oil pelumas proses ini terdiri dari beberapa tahap diantaranya.

- a) Hydrocracking,
- b) Hydrogenasi

#### II.3.3.1 Proses Hydrocracking

Pada proses *hydrocracking* ini hasil dari proses pirolisis dimasukan bersamaan dengan larutan gas *hydrogen* (untuk pemurnian) serta katalis AlSi (yang sudah ada di dalam *reactor*) ke dalam *reactor* pada tekanan 15 atmosfer dan suhu 270 °C. Proses ini berguna dalam mengurangi / menghilangkan *aromatic* dan komponen polar yang dihasilkan dari proses pirolisis. Pada proses *hydrocracking* terjadi pemecahan ikatan rantai C yang panjang menjadi senyawa gas dan liquid.



#### II.3.4 Proses Distilasi *Complex*

Setelah dihidrogenasi dan *hydrocracking* feed dialirkan dalam suatu kolom distilasi I pada tekanan atmosferik untuk memisahkan antara monomer dan isomer yang dihasilkan kemudian di distilasi kembali dengan menggunakan kolom distilasi II dengan proses *distillation complex system* pada tekanan vakum. Proses *distillation complex system* dipilih karena pada proses ini feednya hanya diketahui boiling pointnya. Proses *distillation complex* memisahkan senyawa gas (C<sub>3</sub>) sebagai produk atas



sedangkan produk bawah berupa oil ( $>385^{\circ}\text{C}$ ). Proses berlanjut ke distilasi kedua untuk memisahkan kembali produk bawah, pada hasil bottom produk berupa heavy oil sebagai produk base oil sedangkan pada top produk dihasilkan gasoline.

### BAB III

#### NERACA MASSA

Kapasitas Produksi	:	145000 ton/tahun
Waktu Operasi	:	330 hari/tahun; 24 jam/hari
Basis waktu	:	1 hari
Bahan Baku	:	1307719 kg/hari bahan baku sampah plastik
Basis Perhitungan	:	549242 kg/hari bahan baku plastik PE

#### NERACA MASSA ALAT:

##### -UNIT PRETREATMENT

Terdiri dari: -Shredder (C-120)  
-Melting (R-130)

##### 1) SHREDDER (C-120)

**Tabel A-1.** Tabel Neraca Massa Shredder

Komposisi	MASUK (kg)	KELUAR (kg)
	Aliran 1	Aliran 2
PE	549242	549242
<b>TOTAL</b>	<b>549242</b>	<b>549242</b>

##### 2) TANGKI MELTING (R-130)

**Tabel A-2.** Tabel Neraca Massa Tangki Melting

Komposisi	MASUK (kg)	KELUAR (kg)
	Aliran 2	Aliran 3
PE	549242	549242
<b>TOTAL</b>	<b>549242</b>	<b>549242</b>

##### -UNIT PIROLISIS

Terdiri dari: -Reaktor Pirolisis (R-210)

**3) REAKTOR PIROLISIS (R-210)****Tabel A-3.** Tabel Neraca Massa Reaktor Pirolisis

Komposisi	MASUK (kg)	KELUAR (kg)
	Aliran 3	Aliran 5
PE	549242	
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>		10984,84
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>		252651,32
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>		186742,28
C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>		98863,56
<b>TOTAL</b>	<b>549242</b>	<b>549242</b>

**-UNIT HIDROCRACKING**

Terdiri dari: **-Reaktor Hidrocracking (R-230)**

**4) REAKTOR HIDROCRACKING (R-230)****Tabel A-4.** Tabel Neraca Massa Reaktor Hidrocracking

Komposisi	MASUK (kg)		KELUAR (kg)	
	Aliran 7	Aliran 8	Aliran 9	Aliran 10
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	10984,84		10984,84	
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	252651,32		252651,32	
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	186742,28		286018,29	
C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	98863,56			
H <sub>2</sub>		7413,9		7001,45
<b>Sub Total</b>	<b>549242</b>	<b>7413,9</b>	<b>549654,45</b>	<b>7001,45</b>
<b>TOTAL</b>	<b>556655,90</b>		<b>556655,90</b>	

**-UNIT POST TREATMENT**

Terdiri dari: **-DISTILASI I (D-310)**

**-DISTILASI II (D-320)**

**5) DISTILASI I (D-310)****Tabel A-5.** Tabel Neraca Massa Distilasi I

Kompos isi	Massa (Kg)	Feed (Kg)		Distilate (Kg)		Bottom (Kg)	
		x	xF	y	yD	x	xW
		Aliran 7		Aliran 8		Aliran 9	
C3	10984,8 4	0,0 2	10984,84	1,0 0	10983, 74	0,0 0	1,10
C8	252651, 32	0,4 6	252651,3 20	0,0 0	25,27	0,4 7	252626, 05
C16	286018, 29	0,5 2	286018,2 9	0,0 0	0,00	0,5 3	286018, 29
<b>Total</b>		1,0 0	<b>549654,4 5</b>	1,0 0	<b>11009, 01</b>	1,0 0	<b>538645, 45</b>

**a) AKUMULATOR I (F-312)****Tabel A-6.** Tabel Neraca Massa Akumulator I

Komposi i	masuk (kg)		keluar (kg)			
	I		J kembali		G distilat	
	XI	MI	XJ	MJ	XG	MG
C3 LK	0,999 1	14915,0 2	0,999 1	3931,2 7	0,999 1	10983,7 4
C8 HK	0,000 9	34,31	0,000 9	9,04	0,000 9	25,27
C16	0,000 0	0,00	0,000 0	0,00	0,000 0	0,00
<b>Total</b>	1,000 0	<b>14949,3 2</b>	1,00 2	<b>3940,3 2</b>	1,00 1	<b>11009,0 1</b>



## b) REBOILER I (E-315)

Tabel A-7. Tabel Neraca Massa Reboiler I

Komposisi	Masuk (kg)		Keluar (kg)			
	K		L		H	
	XK	MK	XL	ML	XH	MH
c3 LK	0,000 002	1,13	0,000 002	0,03	0,0000 020	1,10
C8 HK	0,469 002	259637 ,33	0,469 002	7011, 27	0,4690 025	252626 ,05
C16	0,530 995	293956 ,32	0,530 995	7938, 02	0,5309 955	286018 ,29
<b>Total</b>	1,00	<b>553594</b> <b>,77</b>	1,000 000	<b>14949</b> <b>,32</b>	1,0000 000	<b>538645</b> <b>,45</b>

## 6) DISTILASI II (D-320)

Tabel A-8. Tabel Neraca Massa Distilasi II

Komposisi (Kg)		Feed (Kg)		Distilate (Kg)		Bottom (Kg)	
MASSA		X	xF	y	yD	x	xW
		Aliran 9		Aliran 10		Aliran 11	
C3	1,10	0,0 0	1,10	0,0000 04	1,10	0,00 00	0,00
C8	252626, 05	0,4 7	252626, 05	0,9998 96	252600, 79	0,00 01	28,60
C16	286018, 29	0,5 3	286018, 29	0,0001 00	25,26	0,99 99	285989, 69
<b>total</b>	<b>538645,</b> <b>45</b>	1,0 0			<b>252627,</b> <b>15</b>		<b>286018,</b> <b>29</b>



**a) AKUMULATOR II (F-322)**

**Tabel A-9.** Tabel Neraca Massa Akumulator II

Kompos isi	masuk (kg)		keluar (kg)			
	I		J kemb ali		G distila t	
	XI	MI	XJ	MJ	XG	MG
C3	0,000 01	1,17	0,0000 1	0,07	0,000 01	1,10
C8 LK	0,999 94	268676, 28	0,9999 4	16075, 49	0,999 94	252600, 79
C16 HK	0,000 05	26,87	0,0000 5	1,61	0,000 05	25,26
<b>Total</b>	1,000 0	268704, 32	1,00	16077, 17	1,00	252627, 15

**b). REBOILER II (E-315)**

**Tabel A-10.** Tabel Neraca Massa Reboiler II

Komposi si	Masuk (kg)		Keluar (kg)			
	K		L		H	
	XK	MK	XL	ML	XH	MH
C3	0,000 0	0,00	0,000 0	0,00	0,000 0	0,00
C8 LK	0,000 1	55,47	0,000 1	26,87	0,000 1	28,60
C16 HK	0,999 9	554667,1 5	0,999 9	268677,4 6	0,999 9	285989,6 9
<b>Total</b>	1	554722,6 2	1	268704,3 3	1	286018,2 9





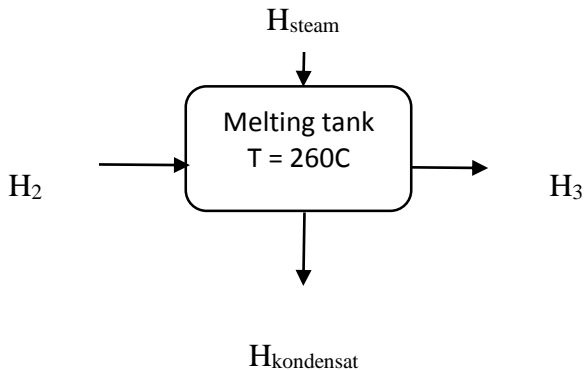
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB IV NERACA ENERGI

Kapasitas Produksi : 145000 Ton/hari  
 Bahan Masuk : 549242 kg/hari  
 Waktu Kerja : 330 hari  
 Satuan Energi : kcal  
 Basis Waktu : hari

### 1. Melting tank

Fungsi : untuk melelehkan polimer PE sebelum masuk ke dalam pirolisis

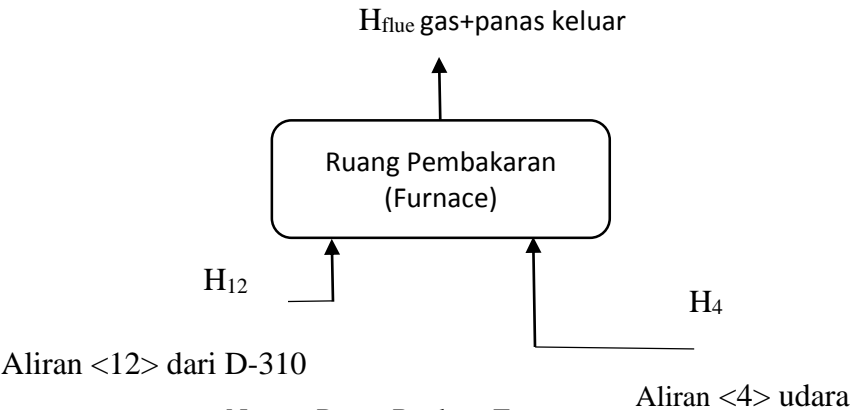


Neraca Panas Melting Tank

Masuk (kcal)		Keluar (kcal)	
H <sub>2</sub> (dari F123) <b>Aliran 2</b>		H <sub>3</sub> (ke R 210) <b>Aliran 3</b>	
PE	385,6289283	PE	31548,41042
H <sub>steam</sub>	164522,95	H <sub>condensate</sub>	133360,1685
Total	164908,579	Total	164908,579



2. Furnace



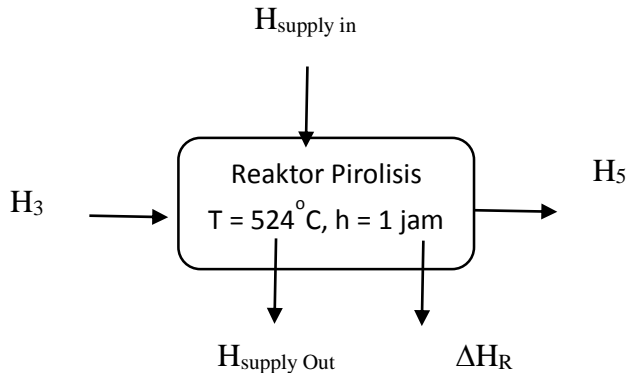
Neraca Panas Reaktor Furnace

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
H12 (dari D 310)		H <sub>flue gas</sub> (Ke R210)	
Aliran 12		N2	6047533,915
H <sub>12</sub>	1040653406	O <sub>2</sub>	391856,0198
Aliran 4		CO <sub>2</sub>	1119416,254
H <sub>4</sub>	127981176,4	H <sub>2</sub> O	1185602,653
		H <sub>panas keluar</sub> (Ke R210)	
		H <sub>panas keluar</sub>	1293773454
ΔH25	133883280,2		
Total	1302517862	Total	1302517862



### 3. Reaktor Pirolisis

Fungsi : untuk tempat terjadi reaksi pirolisis (tanpa O<sub>2</sub>) untuk mengubah lelehan plastik menjadi senyawa hidrokarbon rantai panjang dengan menggunakan pompa sentrifugal parker Hannin Zenith agar lelehan plastik dapat dialirkan ke pirolisis.



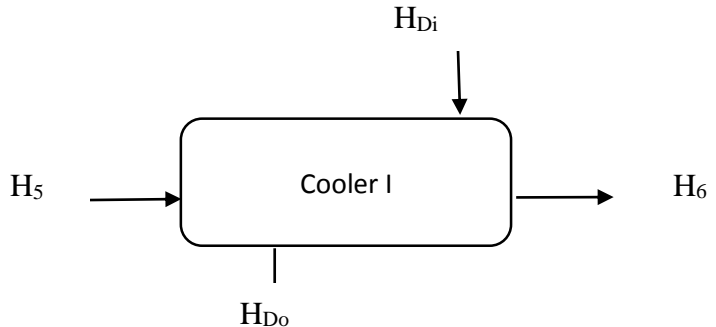
**Tabel B.2.5** Neraca Panas Reaktor Pirolisis

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
H3 (ke R 210) <b>Aliran 3</b>		H5 (ke E212) <b>Aliran 5</b>	
PE	31126,30398	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	15135957,51
	1302517862	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	298162361,2
		C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	232896660,6
H <sub>supply In</sub>		C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	140599398,1
		ΔHR	584148516,8
		H <sub>supply out</sub>	31606094,54
Total	1302548989	Total	1302548989



#### 4. Cooler

Fungsi : untuk menurunkan temperature dari reaktor pirolisis (524C - 420C)



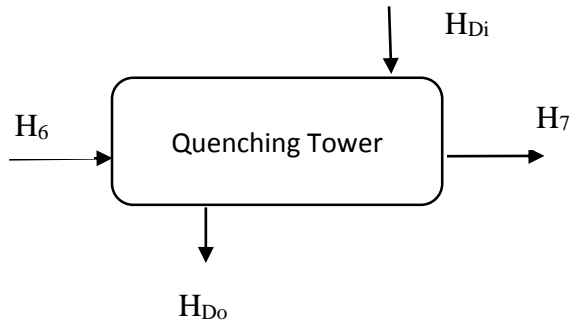
Neraca Panas cooler

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
H <sub>5</sub> (ke E212) <b>Aliran 5</b>		H <sub>6</sub> (ke E222) <b>Aliran 6</b>	
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	15135957,51	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	14907376,83
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	298162361,2	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	292863885,3
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	232896660,6	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	229065778,4
C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	140599398,1	C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	139257085,6
H <sub>Di</sub>	154301,1681	H <sub>Do</sub>	10854552,47
Total	686948678,5	Total	686948678,5



## 5. Quenching Tower

Fungsi : Untuk mendinginkan secara mendadak fluida hasil pirolisis dengan pendingin yang tidak mengalami kontak langsung (indirect)



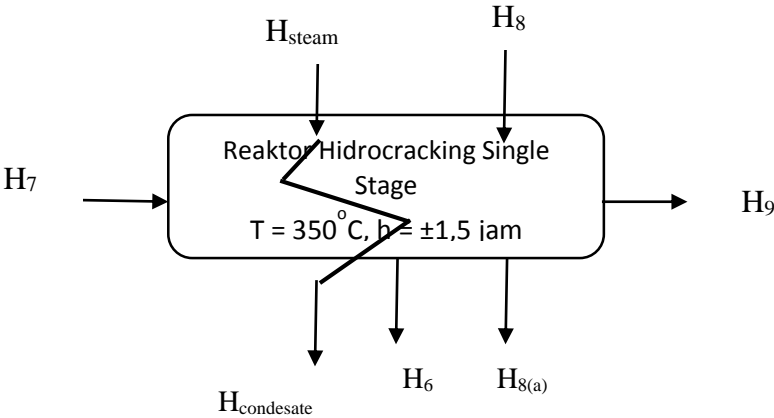
Neraca Panas Quenching Tower

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$Q_6$ (ke E222) <b>Aliran 6</b>		$Q_7$ (ke R230) <b>Aliran 7</b>	
$C_3H_8$	14907376,83	$C_3H_8$	14351369,76
$C_8H_{16}$	292863885,3	$C_8H_{16}$	279975700,6
$C_{16}H_{34}$	229065778,4	$C_{16}H_{34}$	219747416,3
$C_{30}H_{62}$	139257085,6	$C_{30}H_{62}$	135992001
$Q_{Di}$	375327,1657	$Q_{Do}$	26402965,47
Total	676469453,2	Total	676469453,2



6. Reaktor Hidrocracking Single Stage

Fungsi : untuk tempat perengkahan senyawa hidrokarbon rantai panjang secara catalytic dengan injeksi gas H<sub>2</sub> pada Temperatur dan tekanan tinggi.

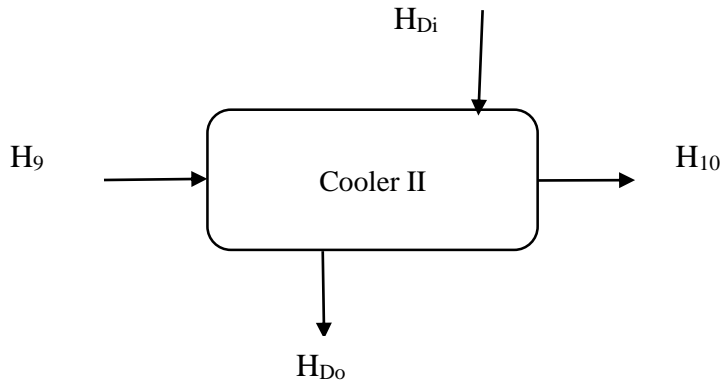


Neraca Panas Reaktor Hidrocracking

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
H <sub>7</sub> (dari E220) <b>Aliran 7</b>		H <sub>9</sub> (ke E234) <b>Aliran 9</b>	
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	14351369,76	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	14351369,76
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	279975700,6	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	279975700,6
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	219747416,3	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	336569630,9
C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	135992001	ΔHR	345766978,7
H <sub>8</sub> (dari E220) <b>Aliran 8</b>		H <sub>8 (a)</sub> (ke F231)	12,1659236
H <sub>2</sub>	472,0958219	H <sub>2</sub>	12,1659236
H <sub>steam</sub>	1724257441	H <sub>condensate</sub>	1397660709
Total	2374324401	Total	2374324413

**7. Cooler II**

Fungsi : untuk menurunkan temperature dari reaktor Hidrocracking (270oC - 212oC)



Neraca Panas cooler II

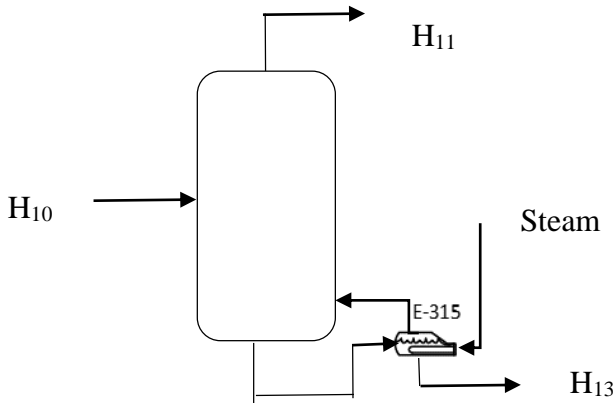
Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
H <sub>9</sub> (Dari R230)		H <sub>10</sub> (ke D310)	
<b>Aliran 9</b>		<b>Aliran 10</b>	
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	14351369,76	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	14172211,93
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	279975700,6	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	21590317,25
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	219747416,3	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	14732807,27
H <sub>Di</sub>	15513758,97	H <sub>Do</sub>	479092909,3
Total	529588245,7	Total	529588245,7





## 8. Distilasi Atmosferik I

Fungsi : untuk memisahkan senyawa  $C_3H_8$  dari  $C_8H_{16}$  dan  $C_{16}H_{34}$  berdasarkan Boiling Point masing-masing senyawa

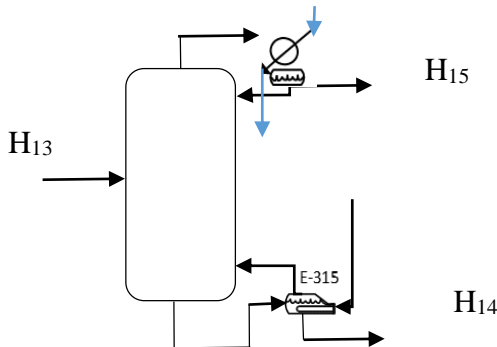


Neraca Panas Distilasi I

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$H_{10}$ (Dari E234)		$H_{11}$ (ke G313)	
<b>Aliran 10</b>		<b>Aliran 11</b>	
$C_3H_8$	14172211,93	$C_3H_8$	13701322,7
$C_8H_{16}$	21590317,25	$C_8H_{16}$	26499,05328
$C_{16}H_{34}$	14732807,27	$C_{16}H_{34}$	0
<b>H</b> reboiler	570999971	$H_{13}$ (ke D320)	
		<b>Aliran 13</b>	
		$C_3H_8$	1419,177077
		$C_8H_{16}$	275795253,5
		$C_{16}H_{34}$	331970813
<b>Total</b>	621495307,4	<b>Total</b>	621495307,4

**9. Distilasi Atmosferik II**

Fungsi : untuk memisahkan senyawa  $C_8H_{16}$  dan  $C_{16}H_{34}$  berdasarkan Boiling Point masing-masing senyawa

**Tabel B.9.2 Neraca Panas Distilasi II**

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$H_{13}$ (Dari D310)			
<b>Aliran 13</b>		<b>Produk Distilat</b>	
$C_3H_8$	0,030726252	$C_3H_8$	8,636241199
$C_8H_{16}$	5995,614056	$C_8H_{16}$	3556073,464
$C_{16}H_{34}$	6158,116014	$C_{16}H_{34}$	58,42620248
<b>H</b> reboiler	5322335,177	<b>Aliran 15</b>	$H_{15}$ (ke F230)
		$C_8H_{16}$	6126,862093
		<b>Aliran 14</b>	$H_{14}$ (ke D325)
		$C_3H_8$	0
		$C_8H_{16}$	1051,32267
		$C_{16}H_{34}$	1771178,863
<b>Total</b>	5334488,938	<b>Total</b>	5334488,938

## BAB V

### SPESIFIKASI ALAT

#### 1. *Bin* (F-111)

##### Spesifikasi :

Fungsi	:	Untuk menyimpan bahan baku plastik.
Kapasitas	:	22885,08 kg/jam
<i>Rate Volumetrik</i>	:	33,22 m <sup>3</sup> /jam
Panjang	:	50 m
Lebar	:	120 m
Jumlah	:	1 unit

#### 2. *Belt Conveyor* (J-112)

##### Spesifikasi :

Fungsi	:	Untuk mengangkut plastik dari bean menuju shredder
Type	:	<i>Troughed belt on 45° idlers with rolls equal length</i>
Ukuran Lump Max.	:	32 mm
Kapasitas	:	27,46 ton/jam
Bahan Konstruksi	:	Karet
Panjang	:	10 m
Kemiringan	:	10°
<i>Cross Sectional Area</i>	:	0,01 m <sup>2</sup>
Lebar Belt	:	35 cm
Kecepatan Belt	:	28,88 m/min
<i>Power Motor</i>	:	2 hp
Jumlah	:	1 unit



### 3. *Shredder* (C-120)

#### Spesifikasi :

Fungsi	:	Untuk memotong plastik menjadi ukuran yang lebih kecil
<i>Rate Mass</i>	:	22885,08 kg/jam
<i>Rate Volumetrik</i>	:	142,87 m <sup>3</sup> /jam
Diameter feed max.	:	0,5 m
<i>Power</i>	:	21,00 hp
Jumlah	:	1 unit

### 4. *Bucket Elevator* (J-114)

#### Spesifikasi:

Fungsi	:	Untuk mengangkut plastik dari shredder ke tahap hopper
Kapasitas	:	27,46 ton
Bahan	:	Carbon Steel
Ukuran Bucket	:	8 x 5 1/2 x 7 3/4 in
<i>Bucket Spacing</i>	:	8,00 in
Tinggi Elevator	:	75,00 ft
Power Motor	:	1,18 hp
Jumlah	:	0,78 unit ≈ 1 unit

### 5. *Hopper* (F-123)

---

Kode Alat	=	F-123
Fungsi	=	Menyimpan sementara bijih plastik sebelum masuk melting.

---



Tipe Tangki	=	<i>Cylindrical - Conical Roof - Flat bottom tank</i>	
Jumlah Tangki	=	1 (satu)	
Bahan			
Konstruksi	=	<i>Carbon Steel SA-283 Grade D</i>	
Kapasitas tangki	=	16765,34	bbl
Tinggi Tangki	=	36	ft
Diameter Tangki	=	60	ft
Tebal Sell per Course			
<i>Course 1</i>	=	0,545	in
<i>Course 2</i>	=	0,473	in
<i>Course 3</i>	=	0,4	in
<i>Course 4</i>	=	0,33	in
<i>Course 5</i>	=	0,257	in
<i>Course 6</i>	=	0,185	in
Tinggi Head Tangki	=	4,2	ft
Tebal Head Tangki	=	0,16	in

## 6. Tangki Gas $C_3H_8$ (F-314)

### Spesifikasi :

Kode Alat	=	F-314	
Fungsi	=	Menyimpan $C_3H_8$	
Tipe Tangki	=	<i>Cylindrical - Torispherical Roof - Torispherical Bottom Tank</i>	
		<i>Carbon Steel SA-283</i>	
Bahan Konstruksi	=	<i>Grade D</i>	
Tekana Operasi	=	1,9733	atm
Tekanan Desain	=	2,0729	atm
Kapasitas Tangki	=	242797,41	m <sup>3</sup>
Tinggi Tangki	=	410,41	ft

---

**Diameter Tangki**

Diameter dalam	=	222	ft
Diameter luar	=	222,5	ft
Tebal <i>Shell</i>	=	3,90	in
Tinggi <i>Shell</i>	=	94,27	ft
Tebal <i>Head</i> Tangki	=	0,42	in

**7. Pompa (L-131)****Spesifikasi**

Kode Alat	L-131	
Fungsi	Memompa umpan dari tangki melting ke reaktor pirolisis	
Tipe Pompa	<i>Centrifugal Pump</i>	
Kapasitas Pompa	0,03	cuft/s
Total Head	43,0866	ft.lb <sub>f</sub> /lb <sub>m</sub>
Power Pompa	64,42	hp

**Ukuran Pipa**

D Nominal	3	in
ID	3,068	in
OD	3,5	in
Schedule No.	40	
Bahan	<i>Commercial steel</i>	
Power Motor	71,5792	hp

**8. Tangki Penyimpan BASE OIL (F-325)****Spesifikasi**

Kode Alat	=	F-325
Fungsi	=	Menyimpan base oil <i>Cylindrical - Conical</i>
Tipe Tangki	=	<i>Roof - Flat bottom tank</i>



Jumlah Tangki	=	1 (satu)
Bahan Konstruksi	=	<i>Carbon Steel SA-283 Grade D</i>
Kapasitas tangki	=	27414 m <sup>3</sup>
Tinggi Tangki	=	42 ft
Diameter Tangki	=	180 ft
Tebal Sell per Course		
<i>Course 1</i>	=	0,986 in
<i>Course 2</i>	=	0,86 in
<i>Course 3</i>	=	0,734 in
<i>Course 4</i>	=	0,608 in
<i>Course 5</i>	=	0,482 in
<i>Course 6</i>	=	0,356 in
<i>Course 7</i>	=	0,23 in
Tinggi Head Tangki	=	46,4 ft
Tebal Head Tangki	=	2,04 in

## 9. Tangki Melting (R-130)

Kode Alat	=	R-130
Fungsi	=	Untuk melelehkan PE
Tipe Tangki	=	Mixed Flow Reaktor
Jumlah Tangki	=	1 (satu)
Bahan Konstruksi	=	<i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Kapasitas tangki	=	365 m <sup>3</sup>
Tinggi Tangki	=	30 ft
Diameter Tangki	=	25 ft
Tebal Sell per Course		
<i>Course 1</i>	=	2,65 in

---




---

Course 2	=	2,13	in
Course 3	=	1,6	in
Course 4	=	1,08	in
Course 5	=	0,56	in
Course 6	=	0,36	in
Course 7	=	0,23	in
Tinggi Head Tangki	=	1,03	ft
Tebal Head Tangki	=	0,18	in

**Dimensi Pengaduk :**

Jenis pengaduk	:	Propeller	
Diameter pengaduk	:	100	in
Kecepatan putaran	:	1	rps
Power motor	:	190	hp

**Dimensi Jacket :**

Vsteam	:	92444,51	cuft/jam
Diameter			
- Inside diameter	:	27,50	ft
- Outside diameter	:	37,50	ft
Tinggi jaket	:	30,00	ft
Luas area steam	:	510,25	ft <sup>2</sup>
Kecepatan superficial steam	:	181,17	ft/jam

**10. Distilasi I (D-310)****Spesifikasi**

Kode Alat = D-310

---





Fungsi	=	Memisahkan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> dari campuran
Jenis kolom	=	<i>Tray distillation column</i>
Jenis tray	=	<i>Perforated (sieve tray)</i>
Jumlah Tray	=	49 Tray
Diameter kolom	=	5 ft
Tray spacing	=	2 ft
Active area	=	17,69 sq.ft
Area of holes	=	1,77 sq.ft
Area of downcomer	=	1,97 sq.ft
$A_h/A$	=	0,09
$A_d/A$	=	0,1
$A_h/A_A$	=	0,1
$d_h$	=	0,25 in
$l_w$	=	43,60 in
$h_w$	=	1,5 in
<i>Design Vessel</i>		
Tipe vessel	=	<i>Tall vertical vessel</i>
Bahan konstruksi	=	<i>Carbon steel SA 283 Grade A</i>
Tebal shell	=	0,18 in
Tinggi vessel	=	100 ft
Tipe head	=	<i>Torispherical Dished head</i>
Tebal head	=	0,19 in
Tinggi head	=	12,36 in

## 11. Reaktor Hidrocracking (R-230)

### Spesifikasi

Kode Alat = R-230




---

Fungsi	=	Tempat melangsungkan reaksi antara residu dengan H <sub>2</sub>
Jenis	=	Reaktor Hidrocracking single stage.
Bahan konstruksi	=	Stainless Steel SA-240, Grade A
Tekanan	=	13,4 MPa
Temperatur	=	270°C
Laju alir massa	=	54665,36 kg/jam
Waktu tinggal	=	1,5 jam
Tebal Shell	=	0,35 in
Tebal head	=	0,40 in
Diameter inside jaket	=	27,5 ft
Tinggi jaket	=	30 ft
Luas area steam	=	510,25 ft <sup>2</sup>
Kecepatan superficial steam	=	134344,53 ft/jam

## 12. Reaktor Pirolisis (R-210)

Kode Alat	=	R-210
Fungsi	=	Untuk tempat terjadinya reaksi pirolisis mengubah lelehan plastik menjadi senyawa-senyawa hidrokarbon.
Tipe	=	Tangki silinder tegak dengan tutup atas dished head dan tutup bawah dished dilengkapi pengaduk dan coil.
Proses	=	Semi kontinyu.
Waktu tinggal	=	1 jam
Suhu Operasi	=	524°C
Tekanan Operasi	=	1 atm
Bahan Kontruksi	=	Carbon Steel SA-201 grade A

---



---

Volume	=	3780 bbl
Diameter Tangki	=	50 ft
Tinggi	=	30 ft
Jumlah course	=	5 buah
Allowable Vertical Weld	=	0,2 in
Butt-welded courses	=	60 in
tebal course 1	=	0,734 in
tebal course 2	=	0,608 in
tebal course 3	=	0,482 in
tebal course 4	=	0,356 in
tebal course 5	=	0,23 in
Head Tangki	=	5,6 ft
Tebal Head	=	0,14 in
Diameter Pengaduk	=	10 ft
Power Pengaduk	=	5,35 hp
Power Motor	=	7 hp
Banyak lilitan coil	=	480131



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB VI UTILITAS**

Pada Pabrik Base Oil dan Gasoline dari sampah plastik dengan proses *Fast Pyrolysis* ini, utilitas merupakan sarana penunjang dari suatu proses utama yang terdapat pada pabrik tersebut. Oleh karena itu utilitas memegang peranan penting dalam pelaksanaan kondisi operasi dan proses. Sarana utilitas pada pabrik base oil dan gasoline meliputi:

1. Air  
Air pada pabrik base oil dan gasoline ini digunakan sebagai air sanitasi yang digunakan untuk karyawan, untuk laboratorium, serta air proses yang digunakan untuk alat scrubber
2. Steam  
Steam pada pabrik base oil dan gasoline ini digunakan untuk proses pemanasan (menaikkan suhu), antara lain pada alat reaktor pirolisis, reaktor hidrocracking dan destilasi multicomponent.
3. Bahan Bakar  
Bahan bakar berfungsi sebagai bahan bakar boiler, furnace dan pembangkit tenaga listrik. Untuk bahan bakar yang digunakan yaitu bahan bakar fuel oil.
4. Listrik  
Listrik berfungsi sebagai tenaga penggerak dari beberapa peralatan proses maupun penerangan.

### **VI.1 Unit Penyedia Air**

Jika dilihat pada unit utilitas, sebagian besar bahan yang digunakan untuk proses pabrik adalah air. Pada pabrik base oil dan gasoline ini, kebutuhan air diambil dari air sungai. Air merupakan pelarut umum dimana semua zat dapat larut didalamnya. Oleh karena itu, air perlu diolah terlebih dahulu sebelum digunakan untuk menghilangkan kotoran-kotoran



yang bersifat mikro maupun makro sebelum masuk ke dalam bak penampung.

Air dalam bak penampung diolah sesuai dengan kebutuhan. Kebutuhan air dalam pabrik base oil dan gasoline antara lain:

- a. Air sanitasi
- b. Air proses
- c. Air boiler
- d. Air pendingin

**a. Air Sanitasi**

Air sanitasi yang digunakan untuk karyawan harus memenuhi syarat parameter kualitas air bersih. Syarat parameter kualitas air bersih antara lain:

1. Parameter Fisik

Warna : jernih  
Rasa : tidak berasa  
Bau : tidak berbau  
Suhu : dibawah suhu 25°C  
Kekeruhan : < 1 mg SiO<sub>2</sub>/liter

2. Parameter Kimia

pH : 6,5 – 8,5  
Tidak mengandung zat terlarut berupa zat organik dan zat anorganik  
Tidak mengandung zat-zat beracun

3. Parameter Biologi

Tidak mengandung bakteri e.coli dan patogen

**b. Air Proses**

Air proses yang digunakan perlu diperhatikan dalam cara penyediaannya antara lain warna, pH, kekeruhan, dan alkalinitas.

**c. Air Boiler**

Air umpan boiler adalah air yang melalui alat softener yang berfungsi untuk mengurangi mineral yang terkandung dalam air. Meskipun air sudah terlihat jernih, akan tetapi air masih mengandung mineral-mineral yang berupa kation maupun anion yang dapat menimbulkan permasalahan pada boiler.

**d. Air Pendingin**

Pada umumnya air yang digunakan sebagai air pendingin memiliki

1. Air merupakan materi yang mudah didapat dalam jumlah besar
2. Dapat menyerap panas dalam jumlah yang besar per satuan volume
3. Tidak mudah menyusut dengan adanya perubahan temperatur pendinginan

**VI.2 Tahapan Pada Water Treatment**

Pengolahan air pada pabrik base oil dan gasoline meliputi:

- a. Pengolahan air secara fisika
- b. Pengolahan air secara kimia
- c. Pengolahan air secara fisika lanjutan

**a. Pengolahan air secara fisika**

Pengolahan air secara fisika meliputi sedimentasi (pengendapan), filtrasi (penyaringan), dan lain-lain. Air yang digunakan dari sungai, sebelum masuk bak penampung dilewatkan saringan untuk mengurangi kotoran seperti sampah. Ketika masuk bak penampung, kotoran akan dilewatkan melalui sekat filter untuk mengendapkan kotoran seperti pasir yang dapat terlarut dalam air. Setelah itu air dari bak penampung dialirkan ke proses pengolahan berikutnya.

**b. Pengolahan air secara kimia**

Pengolahan air secara kimia meliputi koagulasi untuk memisahkan kontaminan yang terdapat pada air dengan menambahkan bahan kimia tertentu. Sebelum air masuk bak penjernih, air ditambahkan dengan bahan kimia tawas ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) yang berfungsi sebagai koagulan. Adanya penambahan tawas akan menggumpalkan kotoran-kotoran yang terdapat dalam air. Selain tawas, juga ditambahkan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  untuk mengkondisikan pH air tetap pada keadaan netral. Tawas menyebabkan pH air menjadi rendah, sehingga perlu ditambahkan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  agar pH air tetap pada keadaan netral.

**c. Pengolahan air secara fisika lanjutan**

Untuk lebih mengoptimalkan proses sedimentasi pada pengolahan air secara fisika, maka dalam bak sedimentasi dilengkapi dengan clarifier yang berputar pada kecepatan putar tertentu untuk mengambil kotoran yang telah mengendap pada dasar bak sedimentasi yang kemudian di pompa keluar. Dari bak sedimentasi, air bersih kemudian dialirkan secara overflow menuju bak penampungan air bersih. Setelah air di bak penampungan air bersih, air kemudian di pompa menuju perangkat filtrasi yang berupa *sand filter* untuk mengikat kotoran-kotoran yang masih terkandung dalam air. Selanjutnya air dari *sand filter* ditampung sementara dalam bak penampungan air bersih yang kemudian akan didistribusikan menurut fungsinya masing-masing, yaitu air sanitasi, air proses, air boiler, dan air pendingin. Untuk air sanitasi, perlu ditambahkan desinfektan terlebih dahulu agar air sanitasi yang digunakan untuk karyawan memenuhi syarat parameter kualitas air bersih. Untuk air proses dan air boiler diperlukan alat softener agar air yang digunakan memenuhi standar operasi yang





optimal. Sedangkan untuk air pendingin dapat digunakan secara langsung.

### VI.3 Perhitungan Kebutuhan Air

#### a. Air Sanitasi

##### 1. Air untuk karyawan

Asumsi : air untuk karyawan 100 kg/hari

Jumlah : 100 orang karyawan

Sehingga total air yang dibutuhkan:

$$= (10.000 \text{ kg/hari}) / (\rho \text{ air})$$

$$= (10.000 \text{ kg/hari}) / (995,68 \text{ kg/m}^3)$$

$$= 10,043 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 10,043 \text{ m}^3/\text{hari} \times (1 \text{ hari}/24 \text{ jam})$$

$$= 0,418 \text{ m}^3/\text{jam}$$

##### 2. Air untuk laboratorium

Asumsi : air untuk laboratorium 110 kg/hari

Jumlah : 100 orang karyawan

Sehingga total air yang dibutuhkan:

$$= (11.000 \text{ kg/hari}) / (\rho \text{ air})$$

$$= (11.000 \text{ kg/hari}) / (995,68 \text{ kg/m}^3)$$

$$= 11,048 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 11,048 \text{ m}^3/\text{hari} \times (1 \text{ hari}/24 \text{ jam})$$

$$= 0,460 \text{ m}^3/\text{jam}$$

##### 3. Air untuk lain-lain

Asumsi : air untuk laboratorium 80 kg/hari

Jumlah : 100 orang karyawan

Sehingga total air yang dibutuhkan:

$$= (8.000 \text{ kg/hari}) / (\rho \text{ air})$$

$$= (8.000 \text{ kg/hari}) / (995,68 \text{ kg/m}^3)$$

$$= 8,035 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 8,035 \text{ m}^3/\text{hari} \times (1 \text{ hari}/24 \text{ jam})$$

$$= 0,335 \text{ m}^3/\text{jam}$$



$$\begin{aligned}
 &\text{Total kebutuhan air sanitasi} \\
 &= 10,043 \text{ m}^3/\text{hari} + 11,048 \text{ m}^3/\text{hari} + 8,035 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 29,126 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 1,214 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

### b. Air Proses

Kebutuhan untuk air proses didapatkan dari Appendix B – Perhitungan Neraca Energi. Berdasarkan perhitungan neraca energi, kebutuhan air proses adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 &\text{Tangki Pencucian} \\
 &= 17452,67 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Total kebutuhan air proses} \\
 &= (17452,67 \text{ kg/hari}) / (\rho \text{ air}) \\
 &= (17452,67 \text{ kg/hari}) / (995,68 \text{ kg/m}^3) \\
 &= 17,528 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 17,528 \text{ m}^3/\text{hari} \times (1 \text{ hari}/24 \text{ jam}) \\
 &= 0,730 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

### c. Air Boiler

Kebutuhan untuk air boiler didapatkan dari Appendix B – Perhitungan Neraca Energi. Berdasarkan perhitungan neraca energi, kebutuhan air boiler adalah sebagai berikut:

Nama Alat	Massa Steam (kg/hari)
Reaktor Melting	295,3665748
Reaktor Hydrocracking	3095543,9
Destilasi I	1025111,12
Destilasi II	30951,95965
Total	4151902,346

$$\begin{aligned}
 &\text{Total kebutuhan air boiler} \\
 &= (4151902,346 \text{ kg/hari}) / (\rho \text{ air})
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} &= (4151902,346 \text{ kg/hari}) / (995,68 \text{ kg/m}^3) \\ &= 4169,916385 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 4169,916385 \text{ m}^3/\text{hari} \times (1 \text{ hari}/24 \text{ jam}) \\ &= 173,7465 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Air boiler yang di recycle } 80\% \\ &= 173,7465 \text{ m}^3/\text{hari} \times 80\% \\ &= 138,9972 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 138,9972 \text{ m}^3/\text{hari} \times (1 \text{ hari}/24 \text{ jam}) \\ &= 5,7916 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Air make up untuk boiler } 20\% \\ &= 173,7465 \text{ m}^3/\text{hari} \times 20\% \\ &= 34,7493 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 34,7493 \text{ m}^3/\text{hari} \times (1 \text{ hari}/24 \text{ jam}) \\ &= 1,4479 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

#### **d. Air Pendingin**

Kebutuhan untuk air pendingin didapatkan dari Appendix B – Perhitungan Neraca Energi. Berdasarkan perhitungan neraca energi, kebutuhan air pendingin adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\text{Cooler} \\ &= 9940,043 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Total kebutuhan air pendingin} \\ &= (9940,043 \text{ kg/hari}) / (\rho \text{ air}) \\ &= (9940,043 \text{ kg/hari}) / (995,68 \text{ kg/m}^3) \\ &= 9,983 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 9,983 \text{ m}^3/\text{hari} \times (1 \text{ hari}/24 \text{ jam}) \\ &= 0,416 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Air pendingin yang di recycle } 80\% \\ &= 9,983 \text{ m}^3/\text{hari} \times 80\% \\ &= 7,987 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$



$$= 7,987 \text{ m}^3/\text{hari} \times (1 \text{ hari}/24 \text{ jam})$$

$$= 0,333 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Air make up untuk pendingin 20%

$$= 9,983 \text{ m}^3/\text{hari} \times 20\%$$

$$= 1,997 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 1,997 \text{ m}^3/\text{hari} \times (1 \text{ hari}/24 \text{ jam})$$

$$= 0,083 \text{ m}^3/\text{jam}$$

**Total kebutuhan air pada unit utilitas**

$$= 29,126 \text{ m}^3/\text{hari} + 17,528 \text{ m}^3/\text{hari} + 4169,916385 \text{ m}^3/\text{hari} + 9,983 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 4226,5533 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 176,1063 \text{ m}^3/\text{jam}$$

**Total air yang di recycle pada unit utilitas**

$$= 138,9972 \text{ m}^3/\text{hari} + 7,987 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 146,9842 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 6,124 \text{ m}^3/\text{jam}$$

**Total air make up pada unit utilitas**

$$= 34,7493 \text{ m}^3/\text{hari} + 1,997 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 36,7463 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 1,531 \text{ m}^3/\text{jam}$$

**Total kebutuhan air pada unit utilitas setelah ditambah 20%**

$$= 4226,5533 \text{ m}^3/\text{hari} \times 20\%$$

$$= 845,310 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Sehingga

$$= 4226,5533 \text{ m}^3/\text{hari} + 845,310 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 5071,864 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 211,32 \text{ m}^3/\text{jam}$$

## **BAB VII**

### **KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA**

#### **❖ VII.1.Pendahuluan**

Sistem keselamatan kerja merupakan suatu upaya untuk menjadikan kondisi kerja yang aman, bagi pekerjaan ataupun kelangsungan operasi pabrik. Hal ini agar supaya pekerja terhindar dari berbagai macam kecelakaan seperti kebakaran, kebocoran atau pencemaran lingkungan.

Penerapan K3 terkait dengan UU Tenaga Kerja Tahun 1970, dan dengan dasar pertimbangan sebagai berikut :

- Setiap tenaga kerja berhak mendapatkan perlindungan atas keselamatan dalam melakukan pekerjaan untuk meningkatkan produksi dan produktivitas.
- Setiap orang yang berada di tempat kerja perlu adanya jaminan keselamatan .
- Setiap sumber-sumber produksi harus digunakan secara aman dan efisien.
- Pengurus pemimpin perusahaan diwajibkan memenuhi dan menaati semua syarat-syarat dan ketentuan-ketentuan keselamatan kerja yang berlaku bagi usaha dan tempat kerja yang dijalankan.
- Setiap orang yang memasuki tempat kerja wajib menaati semua persyaratan keselamatan kerja.
- Mematuhi peraturan materi tenaga kerja no./1996 tentang sistem manajemen K3.
- Tercapainya kecelakaan nihil.

#### **❖ VII.2.Sebab-sebab timbulnya kecelakaan**

Secara umum sebab-sebab timbulnya kecelakaan di lingkungan pabrik adalah sebagai berikut:



### 1) Lingkungan Fisik

Sumber bahaya kecelakaan dari lingkungan fisik meliputi mesin-mesin, peralatan, bahan produksi, lingkungan kerja, penerangan dan lain-lain. Kecelakaan yang terjadi merupakan akibat dari:

- Kesalahan perencanaan.
- Aus atau rusaknya peralatan.
- Kesalahan pada waktu pembelian.
- Terjadi ledakan karena kondisi operasi yang tidak terkontrol.
- Penyusunan peralatan dan bahan produksi yang kurang tepat.
- Lingkungan kerja yang tidak memenuhi persyaratan seperti panas, bising, salah penerangan dan lembab.

### 2) Manusia (Karyawan)

Kecelakaan yang disebabkan oleh manusia (karyawan), antara lain:

- Kurangnya pengetahuan dan ketrampilan karyawan.
- Tidak cocoknya karyawan dengan peralatan atau lingkungan kerja.
- Kurangnya motivasi kerja dan kesadaran karyawan akan keselamatan kerja.

### 3) Sistem Manajemen

Kecelakaan yang disebabkan oleh manajemen adalah sebagai berikut:

- Kurangnya perhatian manager terhadap keselamatan kerja.
- Kurangnya penerapan prosedur kerja dengan baik.
- Kurangnya pengawasan terhadap kegiatan pemeliharaan dan modifikasi.
- Tidak adanya inspeksi peralatan.
- Kurangnya system penanggulangan terhadap bahaya.



4) Bahaya Mekanik

Kecelakaan yang disebabkan oleh benda-benda mekanik antara lain:

- Benda-benda bergerak atau berputar.
- Sistem pengamanan tidak bekerja atau tidak terpasang.

5) Bahaya Kimia

Bahan-bahan kimia yang dapat membahayakan keselamatan dan kesehatan pekerja adalah bahan-bahan bersifat racun dan dapat merusak kulit bila tersentuh.

❖ **VII.3.Keselamatan dan kesehatan kerja pada pabrik Base Oil.**

VII.3.1.Keselamatan Karyawan

Pada saat melaksanakan kerja, karyawan memerlukan APD. Alat pelindung diri adalah alat yang mempunyai kemampuan untuk melindungi seseorang dalam melakukan pekerjaan yang fungsinya mengesolasi tubuh seorang tenaga kerja dari bahaya yang mungkin terjadi di tempat kerja.

VII.3.2. Syarat-Syarat Alat Pelindung Diri

- Memiliki daya cegah dan memberikan perlindungan yang efektif terhadap jenis bahaya yang dihadapi oleh tenaga kerja.
- Kontruksi dan kemampuannya harus memenuhi standar yang berlaku.
- Efisien, ringan, dan nyaman dipakai.
- Tidak mengganggu gerakan-gerakan yang diperlukan.
- Tahan lama dan pemeliharaannya mudah.

VII.3.3. Kelemahan-Kelemahan Penggunaan Alat Pelindung Diri

- Tidak enak dipakai atau kurang nyaman.



- Sangat sensitive terhadap perubahan waktu.
- Mempunyai masa kerja tertentu.
- Dapat menularkan penyakit apabila digunakan secara bergantian.

#### VII.3.4. Jenis-Jenis Alat Pelindung Diri

- 1) Topi keselamatan (Safety Head)  
Untuk melindungi kepala terhadap benturan kemungkinan tertimpa benda-benda yang jatuh melindungi bagian kepala dari kejutan listrik ataupun terhadap kemungkinan terkena bahan kimia yang berbahaya. Digunakan selama jam kerja di daerah instalasi pabrik.
- 2) Alat pelindung mata (Eye goggle)  
Alat pelindung mata berfungsi untuk melindungi mata terhadap benda yang melayang, percikan, bahan kimia, dan cahaya yang menyilaukan.
- 3) Alat pelindung muka  
Alat pelindung muka berfungsi untuk melindungi muka dari dahi sampai batas leher, terhadap bahan kimia yang berbahaya. Pancaran panas, dan pancaran sinar ultraviolet serta inframerah.
- 4) Alat pelindung telinga  
Untuk melindungi telinga terhadap kebisingan. Macam dari alat pelindung pendengaran ini adalah:
  - Ear Plug  
Digunakan di daerah bising dengan tingkat kebisingan sampai dengan 95 dB.
  - Ear Muff





Digunakan di daerah bising dengan tingkat kebisingan lebih dari 95 dB.

5) Alat Pelindung Pernafasan

Alat pelindung pernafasan berfungsi untuk melindungi hidung dan mulut dari berbagai gangguan yang membahayakan tenaga kerja. Terdiri dari:

- Masker dengan filter untuk debu  
Digunakan untuk melindungi hidung dan mulut dari debu dan dapat menyaring debu pada ukuran rata-rata 0,6 mikron sebanyak 98%
- Masker dengan filter untuk debu dan gas  
Digunakan untuk melindungi hidung dan mulut dari debu dan gas asam, uap bahan organik, fumes, asap, dan abu.
- Masker gas dengan tabung penyaring (canister filter)  
Digunakan untuk melindungi mata, hidung, dan mulut dari gas, uap, dan fumes yang dapat menimbulkan gangguan pada keselamatan dan kesehatan kerja.

6) Sarung Tangan

Sarung tangan berfungsi untuk melindungi tangan terhadap bahaya fisik, kimia, dan listrik.

- Sarung tangan karet  
Digunakan apabila bekerja dengan bahan kimia yang berbahaya, korosif, dan iritatif.
- Sarung tangan listrik  
Digunakan apabila bekerja dengan kemungkinan terkena bahaya listrik.

7) Sepatu Pengaman



Digunakan untuk melindungi kaki terhadap gangguan yang membahayakan para pekerja di tempat kerja. Macam dari sepatu pengaman yang digunakan adalah:

- Sepatu Keselamatan  
Digunakan untuk melindungi kaki dari benda yang keras atau tajam, luka bakar yang disebabkan oleh bahan kimia yang korosif, tertembus benda tajam, serta untuk menjaga agar seseorang tidak jatuh terpeleset oleh air atau minyak.
- Sepatu Karet  
Digunakan untuk melindungi kaki terhadap bahan kimia yang berbahaya.
- Sepatu Listrik  
Digunakan apabila bekerja dengan kemungkinan terhadap bahaya listrik.

8) Baju Pelindung

Digunakan untuk melindungi seluruh bagian tubuh terhadap berbagai gangguan yang dapat membahayakan para pekerja. Baju pelindung yang digunakan adalah:

- Baju pelindung yang tahan terhadap asam atau alkali.  
Digunakan untuk melindungi seluruh bagian tubuh terhadap percikan bahan kimia yang berbahaya baik asam maupun alkali.

### VII.3.5. Hal-hal yang Harus Diperhatikan dalam Pabrik Base Oil.

Untuk meminimalkan terjadinya kecelakaan kerja ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu:

1) Bangunan Pabrik

Bangunan gedung beserta alat-alat kontruksinya harus memenuhi persyaratan yang telah direkomendasikan



oleh para ahli untuk menghindari bahaya kebakaran, perusakan akibat cuaca, gempa, petir, banjir dan lain sebagainya.

2) Ventilasi

Ruang kerja harus cukup luas, tidak membatasi atau membahayakan gerak pekerja, serta dilengkapi dengan system ventilasi yang baik sesuai dengan kondisi tempat kerjanya, sehingga pekerja dapat bekerja leluasa, aman, nyaman, karena mendapatkan udara yang bersih.

3) Alat-Alat Bergerak

Alat-alat berputar atau bergerak seperti motor pada pompa ataupun kipas dalam blower, motor pada pengaduk harus selalu berada dalam keadaan tertutup, minimal diberi penutup pada bagian yang bergerak, serta harus diberi jarak yang cukup dengan peralatan yang lainnya, sehingga bila terjadi kerusakan bias diperbaiki dengan mudah.

4) Peralatan yang menggunakan system perpindahan panas

Peralatan yang memakai system perpindahan panas harus diberi isolator, misalnya: Boiler.

5) Sistem Perpipaan

Pipa-pipa harus dipasang secara efektif supaya mudah menghantarkan fluida proses atau utilitas tanpa adanya kehilangan energy atau massa. Pipa-pipa harus diletakkan di tempat yang terjangkau dan aman sehingga mudah diperbaiki dan dipasang.

6) Sistem kelistrikan

Penerangan di dalam ruangan harus cukup baik dan tidak menyilaukan agar para pekerja dapat bekerja dengan baik dan nyaman. Setiap peralatan yang dioperasikan secara elektrik harus dilengkapi dengan pemutusan arus (sekering) otomatis serta dihubungkan dengan tanah (ground) dalam bentuk arde.

7) Karyawan



Seluruh karyawan dan pekerja, terutama yang menangani unit-unit vital, hendaknya diberipengetahuan dan pelatihan khusus dalam bidang masing-masing, serta dalam bidang kesehatan dan keselamatan kerja secara umum.

#### VII.3.6. Instalasi Pemadam Kebakaran

Kebakaran dapat disebabkan karena adanya api kecil, kemudian secara tidak terkontrol dapat menjadi kebakaran besar. Untuk meminimalkan kerugian material akibat bahaya kebakaran ini setiap pabrik harus memiliki dua macam instalasi pemadam kebakaran, yaitu:

- Instalasi tetap : hidran, sprinkle
- Instalasi tidak tetap : fire extinguisher

Untuk instalasi pemadaman tetap perangkatnya, diletakkan ditempat-tempat tertentu yang rawan bahaya kebakaran, misalnya: dekat reactor, boiler, ruang operasi (operasi unit), atau power station.

#### VII.3.7. Keselamatan Pabrik

Alat pelindung untuk mencegah kecelakaan kerja pada pabrik Base Oil antara lain:

Unit	Area	Alat Pelindung
Pre Treatment	Bin	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alat pelindung kepala atau safety helm dari plastik (Bakelite)</li> <li>• Sepatu karet</li> <li>• Sarung tangan</li> <li>• Masker debu</li> </ul>
Pirolisis	Reaktor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alat pelindung kepala atau safety helm dari plastik</li> </ul>



		(Bakelite) <ul style="list-style-type: none"><li>• Sepatu karet</li><li>• Masker gas</li></ul>
Hydroprocessing	Hydrocracking Distilasi kompleks	<ul style="list-style-type: none"><li>• Alat pelindung kepala atau safety helm dari plastik (Bakelite)</li><li>• Sepatu karet</li><li>• Sarung tangan</li><li>• Masker gas</li></ul>
Utilitas	Boiler	<ul style="list-style-type: none"><li>• Alat pelindung kepala atau safety helm dari plastik (Bakelite)</li><li>• Sepatu karet</li><li>• Sarung tangan</li><li>• Masker filter</li><li>• Ear plug</li></ul>

Beberapa usaha dalam menjaga keselamatan pabrik yang dilakukan pada peralatan pabrik Base Oil antara lain:

#### 1. Pompa

- Bagian propeller dilengkapi dengan casing.
- Bagian kopling (yang menghubungkan propeller dan motor) harus selalu tertutup dan dilengkapi dengan strainer (saringan atau filter) yang digunakan untuk menyaring kotoran agar tidak masuk pompa.
- Harus check valve secara berkala untuk mencegah timbulnya aliran balik.
- Diletakkan pada lantai dasar untuk keselamatan dan untuk kemudahan operator.



2. Kondensor
  - Dilengkapi dengan valve pada kondensor tersebut.
  - Dipasang drain hole secukupnya untuk pembersihan
  - Harus selalu diadakan tes, baik terhadap material, kebocoran dan lain-lainnya pada waktu-waktu tertentu.
3. Alat transportasi seperti Zipper Conveyor dan Elevator
  - Dilengkapi dengan penutup agar tidak ada debu dan kotoran yang masuk.
4. Scrubber
  - Perawatan secara teratur
  - Dilengkapi dengan isolator panas
5. Boiler
  - Dilengkapi dengan isolasi
  - Dilengkapi dengan pressure safety valve (untuk mengukur tekanan pada boiler) untuk mencegah terjadinya ledakan.
6. Instalasi Listrik
  - Dilengkapi dengan alat pengaman listrik otomatis
  - Instalasi listrik dihubungkan ke tanah
  - Peralatan yang sangat penting seperti switcher dan transformator sebaiknya diletakkan di tempat yang aman atau tersendiri
  - Peralatan listrik dibawah tanah sebaiknya diberi tanda-tanda tertentu dengan jelas
  - Sebaiknya disediakan pembangkit tenaga (power supply) cadangan
  - Semua bagian pabrik harus diberikan penerangan yang cukup
  - Distribusi beban harus seimbang antara bagian yang satu dengan bagian yang lain
  - Dilengkapi dengan system pemadam kebakaran



### 7. Sistem Perpipaan

- Dilengkapi Isolasi panas untuk pipa steam
- Pengecatan pipa saluran dengan warna yang mudah dibedakan serta dapat menunjukan karakteristik/ sifat dari bahan yang ditransportasikan
- Perpipaan sebaiknya diletakkan diatas permukaan tanah, karena apabila ditanam akan sulit diketahui apabila terjadi kebocoran
- Bila perpipaan terpaksa harus ditanam, maka fire shop drain harus dipasang pada jarak yang teratur, muddah dilihat dan mudah dijangkau.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## **BAB VIII**

### **PENGENDALIAN PROSES DAN INSTRUMENTASI**

Dalam perancangan suatu pabrik, alat ukur serta instrumentasi merupakan suatu bagian yang memegang peranan sangat penting karena dengan adanya system informasi tersebut maka bagian bagian penting dari pabrik yang memerlukan pengawasan rutin dapat dikontrol dengan baik. Instrumentasi selain digunakan untuk mengetahui kondisi operasi, juga berfungsi untuk mengatur nilai-nilai variable proses, baik secara manual maupun secara otomatis untuk memperingatkan operator akan kondisi yang kritis dan berbahaya.

Tujuan dari pemasangan alat instrumentasi bagi perancangan suatu pabrik adalah sebagai berikut:

- Untuk menjaga suatu proses instrumentasi agar tetap aman, yaitu dengan cara:
  - Mendeteksi adanya kondisi yang berbahaya sedini mungkin, dan membuat tanda-tanda bahaya secara interlock otomatis jika kondisi kritis muncul.
  - Menjaga variabel-variabel proses berada pada batas kondisi yang aman.
- Menjaga jalannya suatu proses produksi agar sesuai dengan dikehendaki.
- Menekan biaya produksi serendah mungkin dengan tetap memperhatikan factor-faktor yang lainnya atau efisiensi kerja.
- Menjaga kualitas agar tetap berada dalam standar yang telah ditetapkan.
- Memperoleh hasil kerja yang efisien.
- Membantu dalam keselamatan kerja bagi pekerja dan karyawan pabrik.



Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemeliharaan instrumentasi adalah:

- Ketelitian yang dibutuhkan
- Mudah pengoperasiannya
- Mudah diganti jika rusak
- Level instrumentasi
- Range yang diperlukan dalam pengukuran
- Biaya ekonomis

Pada pabrik Base Oil, instrumentasi yang digunakan ada 2 macam yaitu secara otomatis dan manual, tergantung dari system peralatan dan factor pertimbangan teknik serta ekonominya. Pengaturan secara manual, biasanya dilakukan dengan menggunakan peralatan yang hanya diberi instrument penunjuk atau pencatat saja. Sedangkan pada instrumen penunjuk otomatis diperlukan beberapa bagian instrumentasi. Langkah-langkah untuk menyusun system control dan instrumen pada suatu proses produksi adalah sebagai berikut:

- Identifikasi terhadap plant operation dengan tujuan untuk mengetahui control atau instrument yang digunakan untuk plant tersebut.
- Identifikasi key process, dimana yang membutuhkan variabel control yang jelas terutama berkaitan dengan kualitas produk.
- Identifikasi key process support, dalam hal ini berhubungan dengan safety operation dalam melindungi dari suatu permasalahan produksi.

Cara pengontrolan yang sering digunakan sebagai berikut:

- Secara Manual  
Alat ukur ini dikontrol oleh manusia, hanya berdasarkan pengamatan saja. Cara ini kurang baik karena ketelitian dari manusia yang terbatas.
- Secara Otomatis



Alat pengontrol secara otomatis ini ada bermacam-macam cara pengontrolannya, antara lain:

- Sistem on-off control
- Sistem proportional
- Sistem proportional integral
- Sistem proportional integral derivative

Jenis instrument yang digunakan dapat digolongkan menjadi:

- Indikator  
Merupakan alat yang menunjukkan suatu kondisi operasi pada waktu tertentu
- Recording  
Merupakan alat pencatat kondisi operasi pada suatu peralatan
- Controller  
Merupakan alat yang menunjukkan kondisi operasi pada waktu tertentu sekaligus mampu mengendalikan sesuai dengan kondisi yang diinginkan.

Beberapa bagian instrument yang diperlukan pada alat pengontrol secara otomatis:

- Elemen Pengontrol  
Yaitu elemen yang menunjukkan perubahan harga dari variabel yang dirasa oleh elemen pengukur untuk mengatur sumber tenaga sesuai perubahan yang terjadi
  - Elemen pengontrol akhir  
Yaitu elemen yang mengubah variabel yang diukur agar tetap berada dalam range yang diinginkan
  - Primary Elemen  
Yaitu elemen yang dapat merasakan perubahan dari harga variabel yang diukur
  - Elemen yang diukur
-



Yaitu elemen yang menerima output dari primary elemen dan melakukan pengukuran, termasuk peralatan penunjuk (indikator).

Sistem control yang digunakan dalam suatu plant operation adalah:

- Level Control.  
Berfungsi untuk mengendalikan tinggi cairan dalam suatu alat sehingga tidak melebihi dari batas maksimum yang diizinkan. Secara umum digunakan dalam suatu alat berupa kolom. Level control dihubungkan dengan control valve pada aliran keluaran produk.
- Pressure Control  
Berfungsi untuk mengendalikan tekanan operasi sesuai dengan kondisi diinginkan. Pressure control sangat dibutuhkan pada system yang menggunakan aliran steam atau uap. Pressure control dihubungkan dengan control valve pada aliran keluaran steam atau uap.
- Flow Control  
Untuk mengendalikan debit aliran dari suatu bahan yang masuk ke suatu proses atau alat. Secara umum digunakan dalam suatu alat berupa tangki penyimpanan.
- Temperatur Control  
Untuk mengendalikann dan mengetahui kondisi operasi berdasarkan temperature yang diinginkan.

**Table VIII.1** Sistem control yang dipakai dalam plant operation pabrik Base Oil:

No	Nama Alat	Kode	Instrumen
1.	Tangki Melting	R-130	TC, FC
2.	Reaktor Pirolisis	R-210	TC, PC
3.	Quenching Tower	R-222	TC, FC
4.	Reaktor	R-230	PC, TC
6.	Hydrocracking	D-310	TC, FC, PC
7.	Distilasi I	D-320	TC, PC, FC
	Distilasi II		



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB IX

### PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA

Pada pabrik minyak pelumas (*base oil*) dari limbah plastik dengan proses pirolisis menghasilkan sedikit limbah yang masih perlu diolah. Limbah tersebut berupa *sludge*.

Limbah berupa *sludge* adalah abu hasil dari *wet scrubber*. Abu dihasilkan karena adanya partikel solid yang terikut bersama gas hasil pirolisis dari *reactor* pirolisis yang berukuran 1µm-1mm. Partikel solid yang terikut ke proses selanjutnya kemudian di *spray* dengan air dan ditampung dalam tangki penyimpanan. Proses oksidasi yang terjadi akibat kontak antara udara dan air sehingga menimbulkan sedimentasi (endapan) pada dasar tangki penyimpanan. Endapan yang terjadi adalah *sludge*. *Sludge* terdiri dari air, abu, karat pada tangki, pasir dan bahan kimia lainnya. Limbah yang dihasilkan termasuk limbah B3 sehingga perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan.

Pengolahan limbah ini dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain dengan *chemical Conditioning*, *solidification/stabilization*, dan *inceneration*. Namun dalam pabrik *base oil* ini pengolahan dilakukan dengan cara *solidification/stabilization*.

Secara umum stabilisasi dapat didefinisikan sebagai proses pencampuran limbah dengan bahan tambahan (aditif) dengan tujuan menurunkan laju migrasi bahan pencemar dari limbah serta untuk mengurangi toksisitas limbah tersebut. Sedangkan solidifikasi didefinisikan sebagai proses pemadatan suatu bahan



berbahaya dengan penambahan aditif. Kedua proses tersebut seringkali terkait sehingga sering dianggap mempunyai arti yang sama. Proses solidifikasi/stabilisasi berdasarkan mekanismenya dapat dibagi menjadi 6 golongan, yaitu:

1. *Macroencapsulation*, yaitu proses dimana bahan berbahaya dalam limbah di bungkus dalam matriks struktur yang besar.
2. *Microencapsulation*, yaitu proses yang mirip *Macroencapsulation* tetapi bahan pencemar terbungkus secara fisik dalam struktur Kristal pada tingkat mikroskopik
3. *Precipitation*
4. Adsorpsi, yaitu proses dimana bahan pencemar diikat secara elektrokimia pada bahan pematat melalui mekanisme adsorpsi
5. Absorpsi, yaitu proses dimana solidifikasi bahan pencemar dengan menyerapkannya ke bahan padat
6. *Detoxifacation*, yaitu proses mengubah suatu senyawa beracun menjadi senyawa lain yang tingkat toksisitasnya lebih rendah atau bahkan hilang sama sekali. Teknologi solidifikasi/stabilisasi umumnya menggunakan semen, kapur  $\text{Ca(OH)}_2$ , dan bahan termoplastik. Metoda yang diterapkan di lapangan ialah metode *in-drum mixing*, *in-situ mixing*, dan *plant mixing*. Peraturan mengenai *solidifikasi/stabilisasi* diatur oleh BAPEDAL berdasarkan *Kep-03/BAPEDAL/09/1995* dan *Kep-04/BAPEDAL/09/1995*.



## BAB X

### KESIMPULAN

Pabrik Base Oil dari bahan baku unsur-unsur penyusunnya, limbah plastik PE dengan menggunakan proses Pirolisis mempunyai kualitas produk :

**Tabel X.1** Tabel Kualitas Produk Base Oil

No.	Parameter	Nilai
1.	Warna	Jernih
2.	Densitas	7,2 LBS/Gal
3.	Spesific Gravity	0,85 @60°F
4.	Berat Molekul	226
5.	Titik leleh	-
6.	Titik didih	316 °C
7.	Pour Point	-15 °F
8.	Flash Point	280 °F
9.	Vapor pressure	<1
10.	Vapor density	>1
11.	Viscosity	2,88-12,02 cSt @100 °C

Berdasarkan ketersediaan bahan baku dan kebutuhan dalam negeri, dapat ditetapkan kapasitas pabrik sebesar 145000 ton/tahun. Untuk mencapai kapsitas dan kualitas produksi tersebut, dari hasil perhitungan neraca massa diperlukan bahan baku utama dan tambahan, sebagai berikut:

Bahan Baku Utama :

-PE = 549242 kg/hari

Bahan Baku Tambahan :

-H<sub>2</sub> = 63,77 Kg/hari



Pabrik ini memiliki karakteristik yang mudah meledak sehingga pabrik perlu dilengkapi dengan peralatan instrumentasi dan pengendalian proses yang cukup ketat untuk menjaga kualitas dan keselamatan selama proses produksi, sedangkan operator lapangan perlu menggunakan alat pelindung diri.

### DAFTAR NOTASI

No.	Simbol	Satuan	Keterangan
1	m	Kg	Massa
2	T	°C	Suhu
3	t	s	Waktu
4	R	m <sup>2</sup> /s	Rate
5	C <sub>p</sub>	Kcal/Kg°C	Heat capacity
6	H <sub>L</sub>	Kcal/Kg	Entalpy liquid
7	H <sub>v</sub>	Kcal/Kg	Entalpy vapor
8	N <sub>re</sub>	-	Reynold number
9	λ	Kcal/Kg	Panas latent
10	V	Lt	Volume
11	ρ	g/cc	Densitas
12	μ	Pa.s	Viscositas
13	D	m	Diameter
14	A	m <sup>2</sup>	Luas
15	v	m/s	Kecepatan
16	P	atm	Tekanan
17	F	-	Friksi
18	m <sub>da</sub>	Lbm/h	Kecepatan alir udara
19	M <sub>w</sub>	Lbm/h	Kecepatan alir air
20	S <sub>g</sub>	-	Spesifig gravity
21	BM	Kg/Kmol	Berat molekul
22	U <sub>D</sub>	Btu/h ft <sup>2</sup> °F	Koefisien dirty
23	U <sub>c</sub>	Btu/h ft <sup>2</sup> °F	Koefisien clean
24	R <sub>D</sub>	h ft <sup>2</sup> °F/Btu	Fouling factor
25	ID	In	Inside diameter
26	h <sub>o</sub>	Btu/h ft <sup>2</sup> °F	Perpindahan panas pada outside pipa
27	OD	In	Outside diameter
28	h <sub>io</sub>	Btu/h ft <sup>2</sup> °F	Perpindahan panas pada outside pipa
29	P <sub>des</sub>	psi	Tekanan desain
30	t <sub>s</sub>	in	tebal tangki
31	c	in/year	faktor korosi
32	f	psi	stress maksimum
33	t <sub>h</sub>	in	tebal tutup
34	H	ft	tinggi reaktor
35	N <sub>AO</sub>	KMol	Mol
36	F <sub>AO</sub>	Kmol/jam	Kmol/jam

## DAFTAR PUSTAKA

- Alexandre C. Dimian and Costin Sorin Bildea, “**Chemical Process Design**”, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008
- Askew M. (2004). **Bio-Lubricants-Market Data Sheet**: IENICA-Inform Project.
- Brownell, L.E and Young, F.H., “**Process Equipment Design**”, Willet Eastern Limited, New Delhi, 1959.
- Coulson, J.M., “**Chemical Engineering**”
- Geankoplis, L.J., “**Transport Processes and Unit Operation**”, 2th edition, Allyn and Bacon Inc., 1983.
- Gerard D. (2003). Formulating tomorrow's Lubricants. ***Enviroment and Mechanical Engineering Services***: Renault
- Himmelblau, D.M., “**Basic Principle and Calculation in Chemical Engineering**”, 4th edition, Retice-Holl Inc, Engkwood Cliffs, New Jersey, 1982.
- Hougen & Watson, “**Chemical Process Principles**”, 2th edition, Part I, John Willey and Sons Inc, New York, 1954.
- Kern, D.Q., “**Process Heat Transfer**”, 5th edition, McGraw Hill Book Company, New York, Toronto, London, 1950.
- Kaminsky, W. (2006). **Feedstock Recycling of Waste Plastics**. Australia: John Willey and son Inc.
- Kirk-Othmer., “**Encyclopedia of Chemical Technology**”, 3th edition, vol.23, John Wiley&sons. New York. 1983.
- Ludwig. E. Ernest, “**Design For Chemical and Petrochemical Plants**”, Gull Publishing Houston – Texas, 1947.
- Petro-Canada Lubricants. (2013). **Lubricants Handbook**, Canada: Petro-Canada Lubricants
- Perry J.H., “**Chemical Engineering Handbook**”, 6th edition, McGraw Hill Book, Kagashuka Ltd, Tokyo, 1983. li
- Tapasvl, Dhruv and friends., “**The Society for engineering in agricultural, food, and biological system**”, Nort Dakota State university. 2004.

Ullmann's., **"Encyclopedia of Industrial Chemistry"**, 6<sup>th</sup> edition,  
vol.7, 2003.

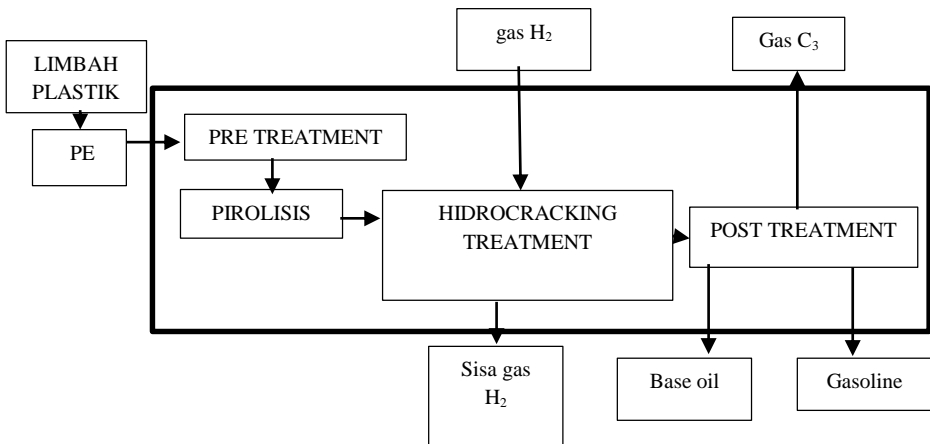
Ulrich G.D., **"A Guide to Chemical Engineering Process design  
and Economic"**, John Willey & Sons, Canada, 1984.

UNEP (United Nations Environment Programme), 2009,  
***Converting Waste Plastics Into a Resource***, Division of  
**Technology**, Industry and Economics International  
Environmental Technology Centre, Osaka/Shiga

## APPENDIKS A PERHITUNGAN NERACA MASSA

**Kapasitas Produksi :** 145000 ton/tahun  
**Waktu Operasi :** 330 hari/tahun; 24 jam/hari  
**Basis waktu :** 1 hari  
**Bahan Baku :** 1307719 kg/hari bahan baku sampah plastik  
**Basis Perhitungan :** 549242 kg/hari bahan baku plastik PE

### Blok Diagram



*(Komposisi bahan baku pada plastic ini berdasarkan jurnal Sthephen J. Miller, 2005)*

**Tabel A.1** Tabel Komposisi Produk Hasil Pirolisis pada  $T=524^{\circ}\text{C}$

KOMPOSISI	% BERAT	MASSA (KG)
Gas: - $\text{C}_3\text{H}_8$	2%	10984,84
Liquid - $\text{C}_8\text{H}_{18}$	46%	252651,32
- $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	34%	186742,28
- $\text{C}_{30}\text{H}_{62}$	18%	98863,56
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>549242</b>

(*Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastic*, W Kaminsky. 2006)

➤ **Perhitungan produk hydrocracking berdasarkan basis 549242 kg bahan baku:**

1) Diketahui sebanyak berat = 549242 kg

**Diketahui bahwa kebutuhan  $\text{H}_2 = 880 \text{ m}^3/\text{feed m}^3$  untuk proses hydrocracking.**

Diket:

$$\text{V. kebutuhan } \text{H}_2 \text{ tiap feed} = 880 \text{ m}^3/\text{feed m}^3$$

$$\rho_{\text{H}_2} = 0,069 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{feed}} (\text{C}_{30}\text{H}_{62}) = 809,7 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{m feed } (\text{C}_{30}\text{H}_{62}) = 98863,56 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{V. feed} &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{98863,56 \text{ kg}}{809,7 \text{ kg/m}^3} \\ &= 122.1 \text{ feed m}^3 \end{aligned}$$

Ditanya:  $m_{H_2}$  ?

Jawab :

$$\begin{aligned} V_{H_2} &= V. \text{ kebutuhan } H_2 \text{ tiap feed} \times V. \text{ feed} \\ &= 880 \text{ m}^3 / \text{ feed m}^3 \times 122,1 \text{ feed m}^3 \\ &= 107448 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{H_2} &= 107448 \text{ m}^3 \times 0,069 \text{ kg/m}^3 \\ &= 7413,9 \text{ kg} = 3677,53 \text{ mol} \end{aligned}$$

(*Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastic. W Kaminsky. 2006*)

**Tabel A.2** Tabel sifat fisis.

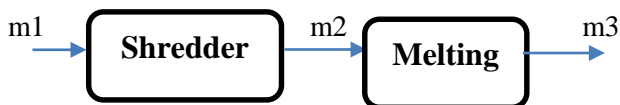
Komposisi	BM (gr/mol)	TBP °C	$\rho \left( \frac{gr}{cu. cm} \right)$
$C_3H_8$	44,1	-42	0,00201
$C_8H_{18}$	114.232	125,7	0,6986
$C_{16}H_{34}$	226.448	286,5	0,77335
$C_{30}H_{62}$	422.826	451	0.8097

(Data TBP : *Sifat Gas dan Zat CAir 3<sup>rd</sup> ed. 616-651* dan Data °API,  $\rho \left( \frac{lb}{cuft} \right)$  : *Perry 7<sup>th</sup> ed 1-2*)

## NERACA MASSA ALAT:

### -UNIT PRETREATMENT

Terdiri dari: -Shredder (C-120)  
-Melting (R-130)



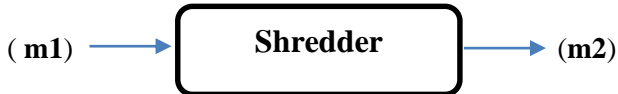


### 1. Shredder (C-120)

Fungsi : Untuk memperkecil ukuran bahan baku (PE)  
ukuran  $\pm 10$  mm

Tipe Alat: Single Shaft Shredder

Kondisi :  $T = 30^{\circ}\text{C}$  ;  $P = 1$  atm



**Neraca Massa:**

$$m1 = m2$$

**Diketahui :**

$m1$  = massa aliran 1 = 549242 kg dari bahan baku PE.

$m2$  = massa aliran 2 = 549242 kg dari bahan baku PE  
dengan ukuran  $\pm 10$  mm.

**Tabel A-3.** Tabel Neraca Massa Shredder

Komposisi	MASUK (kg)	KELUAR (kg)
	Aliran 1	Aliran 2
PE	549242	549242
<b>TOTAL</b>	<b>549242</b>	<b>549242</b>

### 2. TANGKI MELTING (R-130)

Fungsi : Untuk melelehkan PE sebelum masuk pirolisis  
agar beban kerja reaktor pirolisis tidak berat.

Tipe Alat: Tangki melting yang dilengkapi dengan  
motor stirrer

Kondisi :  $T = 260^{\circ}\text{C}$  ;  $P = 1$  atm



**Neraca Massa:**

$$m2 = m3$$

**Diketahui :**

$m_2$  = massa aliran 2 = 549242 kg dari bahan baku PE dengan ukuran  $\pm 10$  mm.

$m_3$  = massa aliran 3 = 549242 kg bahan baku PE lelehan plastik

**Tabel A-4.** Tabel Neraca Massa Tangki Melting

Komposisi	MASUK (kg)	KELUAR (kg)
	Aliran 2	Aliran 3
PE	549242	549242
<b>TOTAL</b>	<b>549242</b>	<b>549242</b>

**-UNIT PIROLISIS**

Terdiri dari: -Reaktor Pirolisis (R-210)

**3. REAKTOR PIROLISIS (R-210)**

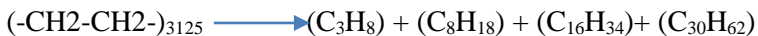
Fungsi : Tempat terjadi reaksi pirolisis (tanpa  $O_2$ ) untuk mengubah bijih plastik menjadi senyawa gas hidrokarbon rantai panjang.

Tipe Alat: Reaktor Furnace Coil Stainless Steel with stirrer

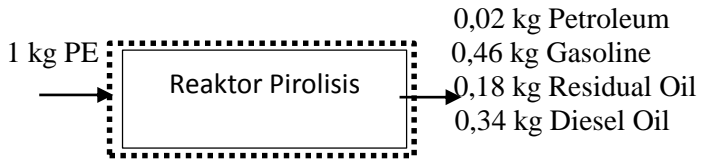
Kondisi :  $T = 524\text{ }^{\circ}\text{C}$   $P = 1\text{ atm}$



Reaksi :



(Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastic. W Kaminsky, 2006)



(Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastic, W. Kaminsky 2006)

### Neraca Massa :

$$m_3 = m_5$$

Diketahui :

$m_3$  = massa aliran 3 = 549242 kg lelehan plastik

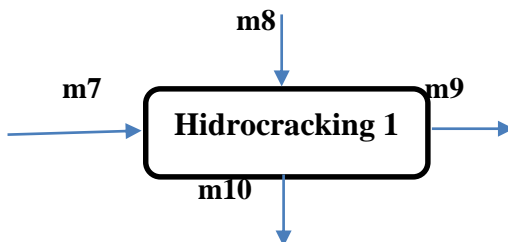
$m_5$  = massa aliran 5 = produk hasil pirolisis

**Tabel A-5.** Tabel Neraca Massa Reaktor Pirolisis

Komposisi	MASUK (kg)	KELUAR (kg)
	Aliran 3	Aliran 5
PE	549242	
$C_3H_8$		10984,84
$C_8H_{18}$		252651,32
$C_{16}H_{34}$		186742,28
$C_{30}H_{62}$		98863,56
<b>TOTAL</b>	<b>549242</b>	<b>549242</b>

### -UNIT HIDROCRACKING

Terdiri dari: -Reaktor Hidrocracking (R-230)

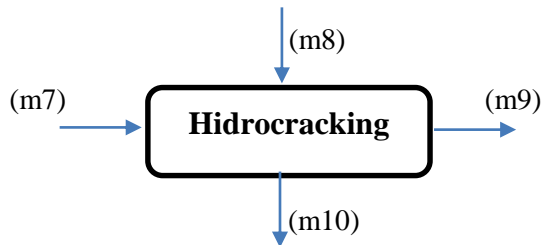


#### 4. REAKTOR HIDROCRACKING (R-230)

Fungsi : Tempat perengkahan senyawa hidrokarbon  $C_{30}H_{62}$  secara *catalytic* dengan injeksi gas  $H_2$  pada temperature dan tekanan tinggi

Tipe Alat: Reaktor Hidrocracking single stage

Kondisi :  $T = 270^{\circ}C$ ;  $P = 13,4 \text{ M Pa}$ ; katalis= AlSi



Diketahui :

$m_7$  = massa aliran 7 = produk hasil pirolisis.

$m_8$  = massa aliran 8 = kebutuhan hydrogen 7413,90kg terhadap bahan baku.

$m_{10}$  = massa aliran 10 = sisa hydrogen 7001,45 kg dari proses hydrocracking.

$m_9$  = massa aliran 9 = produk hasil *hydrocracking*.

**Tabel A-6.** Tabel Data Komponen Feed Hidrocracking

Komposisi	Massa(kg)	$X_i$	$\rho \text{ (kg /cu. m)}$	BM (Kg/Kmol)	$X_i \cdot \rho$	Kmol
$C_3H_8$	10984,84	0,02	2,01	44,10	0,04	249,09
$C_8H_{18}$	252651,32	0,46	698,60	114,23	321,36	2211,74
$C_{16}H_{34}$	186742,28	0,34	773,35	226,45	262,94	824,66
$C_{30}H_{62}$	98863,56	0,18	809,70	422,83	145,75	233,82
Total	<b>549242</b>	1,00			730,08	

Diketahui :

- Kebutuhan hydrogen 7413,90 kg terhadap bahan baku.
- Yang terhidrocracking yaitu senyawa  $C_{30}H_{62}$ .

Asumsi :  $C_{30}H_{62}$  bereaksi sempurna karena massanya sangat kecil dan tidak diinginkan keberadaan  $C_{30}H_{62}$  didalam produk akhir.

$T=270^{\circ}C$ ,  $P=13,4$  M Pa cat. AlSi



Mula: $(CA_0)$	$(CB_0)$	(Base Oil)
233,8161797	3677,53	0
Bereaksi: $(CA_x)$	$(CA_x)$	$(CA_x)$
233,8161797	204,5891572	438,4053369
Sisa Reaksi: $(CA_0-CA_x)$	$(CB_0-CA_x)$	$(CA_x)$
0	3472,94	438,4053369

Sisa  $H_2$  sisa =  $3472,94 \times 2,016 = 7001,45$  kg

Massa (Base Oil) hasil reaksi = 438,4053369 Kmol

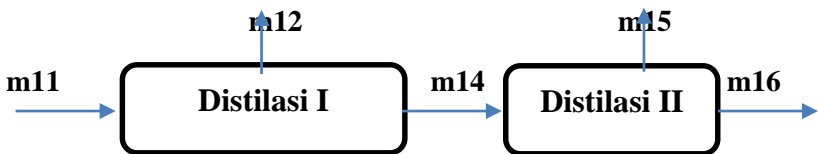
Massa (Base Oil) = hasil reaksi + massa sebelumnya  
 =  $(438,4053369 + 824,658553)$  Kmol  
 = 286018,29 Kg

**Tabel A-7.** Tabel Neraca Massa Reaktor Hidrocracking

Komposisi	MASUK (kg)		KELUAR (kg)	
	Aliran 7	Aliran 8	Aliran 9	Aliran 10
$C_3H_8$	10984,84		10984,84	
$C_8H_{18}$	252651,32		252651,32	
$C_{16}H_{34}$	186742,28		286018,29	
$C_{30}H_{62}$	98863,56			
$H_2$		7413,9		7001,45
<b>Sub Total</b>	<b>549242</b>	<b>7413,9</b>	<b>549654,45</b>	<b>7001,45</b>
<b>TOTAL</b>	<b>556655,90</b>		<b>556655,90</b>	

**-UNIT POST TREATMENT**

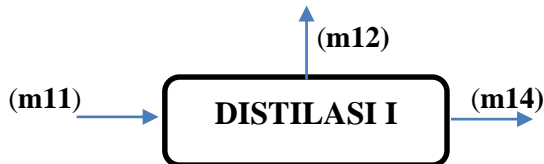
Terdiri dari:

**-DISTILASI I (D-310)****-DISTILASI II (D-320)****5. DISTILASI I (D-310)**

Fungsi : Memisahkan senyawa  $C_3H_8$ ,  $C_8H_{18}$  dan  $C_{16}H_{34}$  berdasarkan boiling point masing-masing senyawa.

Tipe Alat: Distilasi Atmosferik

Kondisi: 107,5 °C



**Neraca Massa :**

$$m11 = m12 + m14$$

Diketahui :

$m11$  = massa aliran 11 = feed masuk hasil dari proses *hydrocracking*.

$m12$  = massa aliran 12 = top produk.

$m14$  = massa aliran 14 = bottom produk.

**Feed Masuk** = 549654,45kg/hari

**Neraca Massa Total :**

$$F = D + W$$

Komponen	Massa masuk	xi
$C_3H_8$	10984,84	0,02
$C_8H_{18}$	252651,32	0,46
$C_{16}H_{34}$	286018,29	0,52
Total	549654,45	1,00

**Neraca Massa Komponen :**

- **Asumsi 99,99%  $C_3H_8$  berada di distilate dan 99,99%  $C_8H_{16}$  berada di bottom.**

•  $C_3H_8$        $X_{af}.F = Y_{bd}.D + X_{bw}.W$

$$0,02(549654,45) = Y_{bd}.D + X_{bw}.W$$

$$10984,84 = Y_{bd}.D + X_{bw}.W$$

$$Y_{bd}.D = 10983,74 \text{ kg}$$

$$X_{bw}.W = 1,1 \text{ kg}$$

• C<sub>8</sub>H<sub>16</sub>

Xaf.F =

Ybd.D +

Xbw.W

0,46 (549654,45) = Ybd.D

+

Xbw.W

252651,325 = Ybd.D

+

Xbw.W

Ybd.D = 25,27 kg

Xbw.W = 252626,05 kg

Tabel A-8. Tabel Neraca Massa Distilasi 1

KOMPO NEN	MASS A	FEED		DISTILAT E		BOTTOM	
		x	xF	y	yD	x	xW
		Aliran 11		Aliran 12		Aliran 14	
C3	10984,8 4	0,0 2	10984,8 4	1,0 0	10983, 74	0,0 0	1,10
C8	252651, 32	0,4 6	252651, 320	0,0 0	25,27	0,4 7	252626, 05
C16	286018, 29	0,5 2	286018, 29	0,0 0	0,00	0,5 3	286018, 29
Total		1,0 0	549654, 45	1,0 0	11009, 01	1,0 0	538645, 45

Boiling Point Pada Distilasi

ko mp	Antoine Coefficient			Vapor Pressure		suh u			Press ure	
	A	B	C	lo g Pv	Pv (mm Hg)		Ki = Pv/ P	ai = Ki/ Kc		
						99, 05			760, 00	ai xi



C3 LK	6, 80	804, 00	247, 04	4, 48	3019 2,90		39, 73	88, 85		1, 78
C8 HK	6, 92	1351 ,99	209, 15	2, 53	339,8 4		<b>0,4</b> <b>5</b>	1,0 0		0, 46
C1 6	7, 03	1830 ,51	154, 45	- 0, 19	0,64		0,0 0	0,0 0		0, 00
Tot al										2, 24

$$K_c = 1/\sum \alpha_i x_i = 0,45$$

(Vapor Pressure Chemical-Properties-Handbook-Carl-L-Yaws-McGraw-Hill-1999).

### Dew Point Pada Distilasi

Ko mp	Antoine Coefficient			Vapor Pressure		su hu 60, 00	Ki = Pv/P	$\alpha_i =$ Ki/ Kc	Press ure 760, 00	Xi dis /αi	xidi s
	A	B	C	log Pv	Pv (mm Hg)						
C3 LK	6, 80	804,0 0	247, 04	4,1 8	1529 1,45		20,1 2	194, 82		0,0 1	0,9 977
C8 HK	6, 92	1351, 99	209, 15	1,8 9	78,4 9		<b>0,10</b>	1,00		0,0 0	0,0 023
C16	7, 03	1830, 51	154, 45	- 1,5 1	0,03		0,00	0,00		0,0 0	0,0 000
Tot										0,0 1	

$$K_c = \sum \alpha_i x_i = 0,01$$

(Vapor Pressure Chemical-Properties-Handbook-Carl-L-Yaws-McGraw-Hill-1999).

Bubble Point Pada Distilasi

	Antoine Coefficient			Vapor Pressure		su h			Pres sure		
ko m p	A	B	C	lo g P v	Pv (mm Hg)	155 ,00	Ki = Pv /P	αi = Ki/ Kc		αixi bot	xi bo t
C3 L K	6, 8 0	804, 00	247 ,04	4, 8 0	6356 2,21		83 ,6 3	39, 62	760, 00	0,0 0	0, 00
C8 H K	6, 9 2	135 1,99	209 ,15	3, 2 1	1604 ,25		<b>2</b> , <b>11</b>	1,0 0		0,4 7	0, 47
C1 6	7, 0 3	183 0,51	154 ,45	1, 1 1	12,9 6		0, 02	0,0 1		0,0 0	0, 53
To tal										0,4 7	

**Kc= 1/Σαixi = 2,11**

*(Vapor Pressure Chemical-Properties-Handbook-Carl-L-Yaws-McGraw-Hill-1999).*

$$Nm = \frac{\log \left[ \left( \frac{x_{ld} \cdot D}{X_{hd} \cdot D} \right) \left( \frac{x_{hb} \cdot B}{x_{lb} \cdot B} \right) \right]}{\log(\sqrt{\alpha_{ld} \alpha_{lb}})}$$

<b>JUMLAH STAGE</b>	Light Key
αi Distilat (Dew)	194,82
αi Bottom (Bubble)	39,62
αL,av	87,86
log bawah	1,94

XLG.G	249,06	XHH.H	2211,52
XHG.G	0,22	XLH.H	0,02
XLG.G/XHG.G	1126,10	XHH.H/XLH.H	88784,10
log atas	8,00		
Nm	4,12		

**Minimum Reflux Ratio**

Dew point	60,00
bubble point	155,00
average	107,50

**K value pada average suhu**

kompo nen	Antoine Coefficient			Vapor Pressure		suh u			Press ure
	A	B	C	lo g Pv	Pv (mm Hg)	107, 50	Ki = Pv/ P	αi = Ki/ Kc	
C3 LK	6, 80	804, 00	247, 04	4, 54	34298 ,32		45,1 3	77,0 8	760,0 0
C8 HK	6, 92	1351 ,99	209, 15	2, 65	444,9 7		0,59	1,00	
C16	7, 03	1830 ,51	154, 45	0, 04	1,10		0,00 14	0,00 25	

(Vapor Pressure Chemical-Properties-Handbook-Carl-L-Yaws-McGraw-Hill-1999).

$$1 - q = \sum \frac{\alpha_i x_i F}{\alpha_i - \theta}$$

Karena feed masuk pada boiling point maka  $q = 1$

Trial $\theta$	antara $\alpha$ LK dan $\alpha$ HK				
$\theta$	15,00	9,00	7,50	6,00	4,00
C3 LK	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
C8 HK	-0,03	-0,06	-0,07	-0,09	-0,15
C16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
total	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,13

Komponen	$R_m + 1$
C3 LK	1,24
C8 HK	0,00
C16	0,00
total	1,24
$R_m$	0,24

$\Theta = 15$

$$R_m + 1 = \sum \frac{\alpha_i x_i D}{\alpha_i - \theta}$$

Geankoplis hal 660  
alasan 1,5 Ludwig 73

1,2 - 1,5  
R optimum  $R_m$   
R = 1,5  $R_m$   
R = 0,36

Jumlah Stage Teoritis dgn Pers Eduljee

R- $R_m$  0,12  
R+1 1,36

$$\frac{N - N_m}{N + 1} = 0.75 \left[ 1 - \left( \frac{R - R_m}{R + 1} \right)^{0.566} \right]$$

R-Rm/R+1

0,09

(R-Rm/R+1)^0,5668

0,25

maka

N-Nm/N+1

0,56

N=

5,26

N =

6,00

stages

Efisiensi Tray

T av

107,50

μ =

A+BT+CT^2+DT^3

α LK av

87,86

Komponen	A	B	C	μ
C3	-5,462	3,27E-01	-1,07E-04	28,46
C8	3,94	1,66E-01	1,45E-05	22,00
C16	-13,585	1,60E-01	-5,58E-06	3,55
TOTAL	-15,11	0,65	0,00	54,00

$E_0 = 51 - 32.5 \left[ \log \left( \mu_{avg} \cdot \alpha_{avg} \right) \right]$

Komponen	XF (kmol)	μ (mNs/m2)	μ av molar	μ α	log μ α
C3	0,07	0,00	0,00	0,02	- 0,85
C8	0,59	0,00	0,00	0,11	
C16	0,34	0,00	0,00	0,01	

total	1,00	0,01	0,00	0,14	
-------	------	------	------	------	--

E0 = 78,54 0,79

$$\frac{N}{N_{the}} = E_0$$

N actual 7,64  
8,00 stages

**Lokasi Feed Plate**

XHF 0,46  $log \frac{Ne}{Ns} = 0.206 \log \left[ \left( \frac{x_{HF}}{x_{LF}} \right) \frac{B}{D} \left( \frac{x_{LB}}{x_{HD}} \right)^2 \right]$

XLF 0,02 (Geankoplis 3<sup>th</sup>, 1997)

H 538645,45

G 11009,01

XLH 0,00

XHG 0,00

() 0,00

log -3,05

log Ne/Ns -0,63

Ne/Ns 0,24

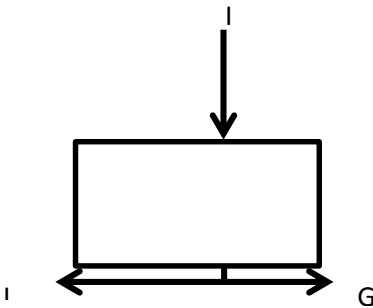
Ne+Ns 8,00

Ne = 8-Ns

Ns = 6,48

Ne = 1,52 Feed tray pada tray ke 1 dari atas

**Akumulator I (F-312)**



**Neraca Massa Akumulator Reflux Ratio=0,36**

**Tabel A-9.** Tabel Neraca Massa Akumulator 1

Komponen	masuk (kg)		keluar (kg)			
	I		J kembali		G distilat	
	XI	MI	XJ	MJ	XG	MG
C3 LK	0,9991	14915,02	0,9991	3931,27	0,9991	10983,74
C8 HK	0,0009	34,31	0,0009	9,04	0,0009	25,27
C16	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00
Total	1,0000	14949,32	1,00	3940,32	1,00	11009,01

**Reboiler I (E-315)**

**K = F + J**

K = 553594,77

$K = L + H$

$L = 14949,32$

**Neraca Massa Reboiler**

**Tabel A-10.** Tabel Neraca Massa Reboiler 1

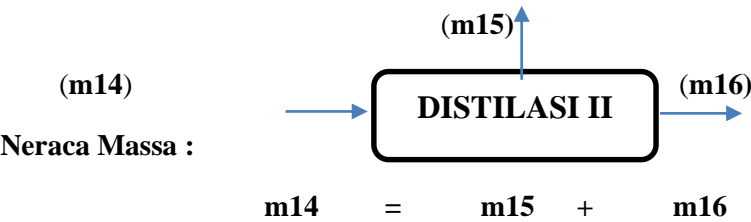
Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)			
	K		L		H	
	XK	MK	XL	ML	XH	MH
c3 LK	0,0000 02	1,13	0,0000 02	0,03	0,00000 20	1,10
C8 HK	0,4690 02	259637, 33	0,4690 02	7011,2 7	0,46900 25	252626, 05
C16	0,5309 95	293956, 32	0,5309 95	7938,0 2	0,53099 55	286018, 29
Total	1,00	553594, 77	1,0000 00	14949, 32	1,00000 00	538645, 45

**6. DISTILASI II**

Fungsi : Memisahkan senyawa  $C_8H_{18}$  dan  $C_{16}H_{34}$  berdasarkan boiling point masing-masing senyawa.

Tipe Alat : Distilasi Atmosferik

Kondisi : 206,84 °C





Diketahui :

$m_{14}$  = massa aliran 14 = feed masuk hasil dari Distilasi I

$m_{15}$  = massa aliran 15 = top produk.

$m_{16}$  = massa aliran 16 = bottom produk.

**Feed Masuk** = 538645,45kg/hari

**Neraca Massa Total :**

$$F = D + W$$

	Massa Masuk	xi
$C_3H_8$	1,10	0,000002
$C_8H_{16}$	252626,05	0,469002
$C_{16}H_{34}$	286018,29	0,530995
Total	538645,45	1,000000

**Neraca Massa Komponen :**

- **Asumsi 99,99%  $C_8H_{16}$  berada di distilate dan 99,99%  $C_{16}H_{34}$  berada di bottom.**

•  $C_8H_{16}$        **$X_{af}.F = Y_{bd}.D + X_{bw}.W$**

$$0,47(538645,45) = Y_{bd}.D + X_{bw}.W$$

$$252626,05 = Y_{bd}.D + X_{bw}.W$$

$$Y_{bd}.D = 252600,79 \text{ kg}$$

$$X_{bw}.W = 25,26 \text{ kg}$$

• C<sub>16</sub>H<sub>34</sub>

Xaf.F =

Ybd.D +

Xbw.W

0,53 (538645,45) = Ybd.D

+

Xbw.W

286018,29

= Ybd.D

+

Xbw.W

Ybd.D = 28,60 kg

Xbw.W = 285989,69kg

Tabel A-11. Tabel Neraca Massa Distilasi II

KOMPONEN		FEED		DISTILATE		BOTTOM	
MASSA		X	xF	y	yD	x	xW
		Aliran 14		Aliran 15		Aliran 16	
C3	1,10	0,00	1,10	0,000004	1,10	0,0000	0,00
C8	252626,05	0,47	252626,05	0,999896	252600,79	0,0001	28,60
C16	286018,29	0,53	286018,29	0,000100	25,26	0,9999	285989,69
total	538645,45	1,00			252627,15		286018,29

Boiling Point Pada Kolom Distilasi

Ko mp	Antoine Coefficient			Vapor Pressure		suh u			Pres sure	
	A	B	C	log Pv	Pv (mm Hg)					
C3	6,80	804,00	247,04	4,80	63562,21		83,634	4904,16		0,01
C8	6,	135	209	3,	1604,		2,1	123,		58,

LK	92	1,99	,15	21	25		11	78		05
C1 6 HK	7, 03	183 0,51	154 ,45	1, 11	12,96		<b>0,0 17</b>	1,00		0,5 3
Tot al										58, 59

(Vapor Pressure Chemical-Properties-Handbook-Carl-L-Yaws-McGraw-Hill-1999)

Dew Point Pada Kolom Distilasi

	Antoine Coefficient			Vapor Pressure		su hu			Press ure		
ko mp	A	B	C	lo g Pv	Pv (mm Hg)	126, 73	Ki = Pv/P	ai = Ki/Kc	760,0 0	Xidis /ai	xidis
C3	6, 80	804, 00	247, 04	4, 65	44868 ,81		59,03 791	13615 ,85		0,00 00	0,000 004
C8 LK	6, 92	1351 ,99	209, 15	2, 89	781,2 4		1,027 94	237,0 7		0,00 42	0,999 896
C1 6 HK	7, 03	1830 ,51	154, 45	0, 52	3,30		0,004 3	1,00		0,00 01	0,000 100
Tot al										0,00 43	

$Kc = \sum a_i x_i = 0,0043$

(Vapor Pressure Chemical-Properties-Handbook-Carl-L-Yaws-McGraw-Hill-1999)

Bubble Point Pada Kolom Distilasi

	Antoine Coefficient			Vapor Pressure		su hu			Pre ssur e		
kom pone n	A	B	C	lo g P v	Pv (mm Hg)	28 6,9 5	Ki = Pv/ P	ai = Ki/ Kc		ai x ibo t	xib ot
c3	6, 8 0	804 ,00	24 7,0 4	5, 3 0	1983 14,2 1		26 0,9 4	26 0,8 6	760 ,00	0,0 0	0,0 00 0

C8 LK	6, 9 2	135 1,9 9	20 9,1 5	4, 1 9	1558 7,02		20, 50 9	20, 50		0,0 0	0,0 00 1
C16 HK	7, 0 3	183 0,5 1	15 4,4 5	2, 8 8	760, 23		<b>1,0</b> <b>00</b>	1,0 0		1,0 0	0,9 99 9

**Kc= 1/∑αixi = 1**

*(Vapor Pressure Chemical-Properties-Handbook-Carl-L-Yaws-McGraw-Hill-1999)*

**Menghitung Jumlah Stage**

$$Nm = \frac{\log_{10} \left[ \left( \frac{x_{ld} \cdot D}{X_{hd} \cdot D} \right) \left( \frac{x_{hb} \cdot B}{x_{lb} \cdot B} \right) \right]}{\log(\sqrt{\alpha_{ld} \alpha_{lb}})}$$

<b>JUMLAH STAGE</b>	Light Key
αi Distilat (Dew)	237,07
αi Bottom (Bubble)	20,51
αL,av	69,73
log bawah	1,84
XLG.G	2211,33
XHG.G	0,11
XLG.G/XHG.G	19824,10
log atas	8,00
Nm	4,34
XHH.H	1262,93
XLH.H	0,25
XHH.H/XLH.H	5044,20

**Minimum Reflux Ratio**

Dew point	126,73
bubble point	286,95
average	206,84

**K value pada average suhu**

ko mp	Antoine Coefficient			Vapor Pressure		suhu	Ki = Pv/P	αi = Ki/K <sub>c</sub>	Press ure
	A	B	C	lo g P <sub>v</sub>	P <sub>v</sub> (mmH g)				
C3	6, 80	804, 00	247, 04	5, 03	10754 9,08		141, 51	1175 ,44	760,0 0
C8 LK	6, 92	1351 ,99	209, 15	3, 67	4655,2 8		6,13	50,8 8	
C1 6 HK	7, 03	1830 ,51	154, 45	1, 96	91,50		0,12	1,00	

(Vapor Pressure Chemical-Properties-Handbook-Carl-L-Yaws-McGraw-Hill-1999)

$$1 - q = \sum \frac{\alpha_i x_i^F}{\alpha_i - \theta}$$

**Karena feed masuk pada boiling point maka q = 1**

Trial θ	antara α LK dan α HK				
θ	2,08	9,00	7,50	6,00	4,00
C3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C8 LK	0,49	0,57	0,55	0,53	0,51
C16 HK	-0,49	-0,07	-0,08	-0,11	-0,18
total	0,00	0,50	0,47	0,43	0,33

Komponen	Rm + 1
C3	0,00
C8 LK	1,04
C16 HK	0,00
total	1,04
Rm	0,04

$$Rm + 1 = \sum \frac{\alpha_i x_i D}{\alpha_i - \theta}$$

$\theta = 2,08$

R optimum            1,2-1,5Rm  
R =                      1,5 Rm  
R =                      0,06

**Jumlah Stage Teoritis dgn Pers Eduljee**

R-Rm                    0,02  
R+1                      1,06  
R-Rm/R+1            0,02  
(R-  
Rm/R+1)^0,5668      0,11

maka  
N-Nm/N+1            0,67  
N=                      8,75  
N =                      9,00    stages

*Geankoplis hal 660*  
*alasan 1,5 Ludwig 73*

$$\frac{N - N_m}{N + 1} = 0.75 \left[ 1 - \left( \frac{R - R_m}{R + 1} \right)^{0.566} \right]$$

Efisiensi Tray

T av 206,84

α LK av 69,72

$$E_0 = 51 - 32.5 \left[ \log \left( \mu_{avg} \cdot \alpha_{avg} \right) \right]$$

$$\mu = A + BT + CT^2$$

Komponen	A	B	C	μ
C3	-5,46	0,33	0,00	57,61
C8	3,94	0,17	0,00	38,98
C16	-13,59	0,16	0,00	19,27
TOTAL	-15,11	0,65	0,00	115,86

Komponen	XF (kmol)	μ (mNs/m2)	μ av molar	μ α	log μ α
C3	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,65
C8	0,64	0,00	0,00	0,17	
C16	0,36	0,00	0,00	0,05	
total	1,00	0,01	0,00	0,22	

E0 = 72,26 0,72

$$\frac{N}{N_{the}} = E_0$$

N actual 12,46  
13,00 stages

Lokasi Feed Plate

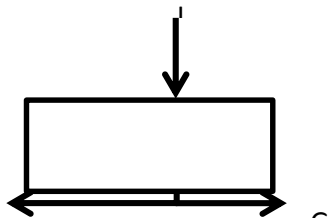
$$\log \frac{N_e}{N_s} = 0.206 \log \left[ \left( \frac{x_{HF}}{x_{LF}} \right) \frac{B}{D} \left( \frac{x_{LB}}{x_{HD}} \right)^2 \right]$$

(Geankoplis 3<sup>th</sup>, 1997)

XHF	0,53	
XLF	0,47	
H	286018,29	
G	252627,15	
XLH	0,00	
XHG	0,00	
()	1,28	
log	0,11	
log Ne/Ns	0,02	
Ne/Ns	1,05	
Ne+Ns	13,00	
Ne =	13-Ns	
13 - Ns =		
13 =	2,05	
Ns =	6,34	
Ne =	6,66	Feed tray pada tray ke 6 dari atas



**Akumulator II (F-322)**



**Neraca Massa Akumulator Reflux Ratio=0,06**

**Tabel A-12.** Tabel Neraca Massa Akumulator II

komponen	masuk (kg)		keluar (kg)			
	Aliran I		Aliran J		Aliran G	
	XI	MI	XJ	MJ	XG	MG
C3	0,00001	1,17	0,00001	0,07	0,00001	1,10
C8 LK	0,99994	268676,28	0,99994	16075,49	0,99994	252600,79
C16 HK	0,00005	26,87	0,00005	1,61	0,00005	25,26
Total	1,0000	268704,32	1,00	16077,17	1,00	252627,15

**Reboiler II (E-315)**

**K = F + J**

**K =** 554722,62

**K = L + H**

**L =** 268704,33

**Neraca Massa Reboiler**

**Tabel A-13.** Tabel Neraca Massa Reboiler II

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)			
	Aliran K		Aliran L		Aliran H	
	XK	MK	XL	ML	XH	MH
C3	0,000 0	0,00	0,000 0	0,00	0,000 0	0,00
C8 LK	0,000 1	55,47	0,000 1	26,87	0,000 1	28,60
C16 HK	0,999 9	554667,1 5	0,999 9	268677,4 6	0,999 9	285989,6 9
Total	1	554722,6 2	1	268704,3 3	1	286018,2 9

## APPENDIKS B

### PERHITUNGAN NERACA PANAS

Kapasitas Produksi : 145000 ton/tahun  
 Bahan Baku masuk : 549242 kg/hari  
 waktu operasi : 330 hari/tahun  
 satuan panas : kkal  
 Temperature Reference : 25 C

Dasar yang dibutuhkan untuk perhitungan Neraca Panas :

> Perhitungan Neraca panas yaitu :

Panas Entalphy :

Dimana :

H = Panas Entalpi (kkal)

m = kmol

Cp = Kapasitas panas (kkal/kmol K)       $H = m \times Cp \times \Delta T$

$\Delta T$  = selisih temperature (K)

Data Cp PE diperoleh dari " Polymer Process Engineering" hal 76

1. Pada temperature 303,15 K (30 C)

PE : 12,287 kkal/kmol K

2. Pada temperature 533,15 K (260 C)

PE : 18,85568 kkal/kmol K

Data Cp (gas) yang diperoleh menggunakan rumus :

$$C_p^0 = C1 + C2 \left[ \frac{C3/T}{\sinh(C3/T)} \right]^2 + C4 \left[ \frac{C5/T}{\cosh(C5/T)} \right]^2$$

Tabel B.1 Data koefisien Perhitungan Heat Capacities untuk fase gas

Komponen	C1 x10 <sup>-5</sup>	C2 x10 <sup>-5</sup>	C3 x10 <sup>-3</sup>	C4 x10 <sup>-5</sup>	C5
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,5192	1,9245	1,6265	1,168	723,6
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	1,3554	4,431	1,6356	3,054	746,4
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	2,6283	8,9733	1,6912	6,264	744,41
C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	3,2481	11,09	1,636	7,45	-726,47

Data Cp (Liquid) yang diperoleh dari "Carl L Yaws: Chemical Properties" menggunakan rumus

$$A + B \times T + C \times T^2 + D \times T^3$$

Tabel B.2 Data koefisien Perhitungan Heat Capacities untuk fase liquid

Komponen	A	B	C	D
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	59,642	0,32831	-0,15277	3,6539E-06
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	277,94	-0,35205	0,00087	0
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	89,101	2,7062	-0,00615	0,000005752

Data  $\lambda$  diperoleh dari : Steam Table "Geankoplis"

Data  $\Delta H_f$  diperoleh dari : (Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastic. W Kaminsky.2006)

Tabel Data Heat of Formation tiap komponen

Komponen  $\Delta H_f$  (kkal/kmol)

$C_3H_8$  -14017,5684

$C_8H_{16}$  -21720,9168

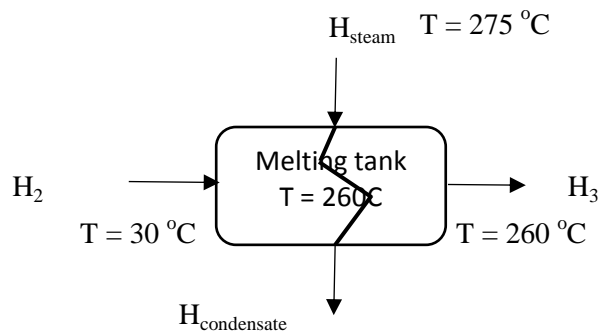
$C_{16}H_{34}$  -36500,8688

$C_{30}H_{62}$  -89963,6034

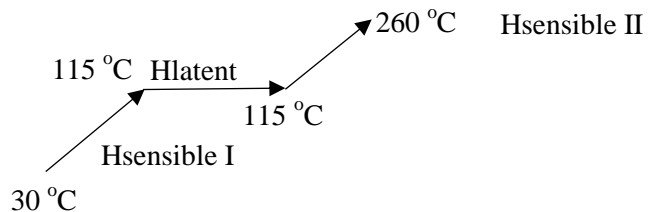
Data  $\Delta H_c$  diperoleh dari : Hougen

### 1. Melting tank

Fungsi : untuk melelehkan polimer PE sebelum masuk ke dalam pirolisis



Komponen PE mengalami perubahan fase dari padat menjadi liquid dan perubahan suhu dari 30 °C menjadi 260 °C sehingga terjadi dua panas yaitu panas sensible dan latent



Data  $\Delta H_f$  diperoleh dari : Himmelblau

$\Delta H_f$  PE = 3,351 KJ/mol

**Neraca Panas :** panas masuk = panas keluar = 783,4638 Kkal/kmol

$H_2 + H_{steam} = H_3 + H_{condensate}$

**Tabel B.1.1** Nilai panas masuk dan panas keluar pada Melting Tank

Komponen	BM	m (kg)	m (kmol)	Cp	ΔT (K)	H (kkal)
Aliran 2:						
PE	87500	549242	6,2770514	12,287	5	385,6289283
H <sub>sensible I</sub>						385,6289283
H <sub>2</sub>						385,6289283
Aliran 3	BM	m (kg)	m (kmol)	ΔH <sub>f</sub>		Q (kkal)
PE	87500	549242	6,2770514	783,4638		4917,842565
H <sub>latent</sub>						4917,842565
	BM	m (kg)	m (kmol)	Cp	ΔT (K)	Q (kkal)

PE	87500	549242	6,2770514	18,856	225	26630,56786
H <sub>3</sub>						31548,41042

### 1.1 Perhitungan H<sub>steam</sub> dan H<sub>Condensate</sub>

Diketahui : T = 300 °C , P = 8581 kPa

H<sub>v</sub> = 656,587654 kkal/kg 85,81 bar

H<sub>L</sub> = 321,009024 kkal/kg

$$\begin{aligned} H_{\text{condensate}} &= m_{\text{steam}} \times H_L \\ &= m_{\text{steam}} \times 321,009024 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{steam}} &= m_{\text{steam}} \times H_v \\ &= m_{\text{steam}} \times 656,587654 \end{aligned}$$

**Neraca Panas :** panas masuk = panas keluar

$$H_2 + H_{\text{steam}} = H_3 + H_{\text{condensate}}$$

$$H_{\text{steam}} - H_{\text{condensate}} = H_3 - H_2$$

$$(m_{\text{steam}} \times H_v) - (m_{\text{steam}} \times H_L) = 31548,41042 - 385,628928$$

$$m_{\text{steam}} \times (H_v - H_L) = 31162,78149$$

$$m_{\text{steam}} \times (656,587654 - 321,009024) = 31162,78149$$

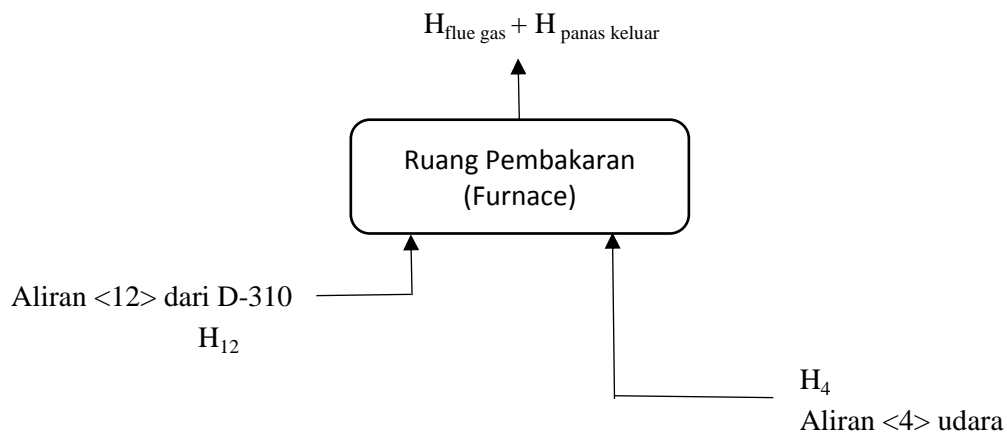
$$m_{\text{steam}} \times (335,57863) = 31162,78149$$

$$m_{\text{steam}} = 92,86283066 \text{ kg}$$

**Tabel B.1.2** Neraca Panas Melting Tank

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
H <sub>2</sub> (dari F123)		H <sub>3</sub> (ke R 210)	
<b>Aliran 2</b>		<b>Aliran 3</b>	
PE	385,6289283	PE	31548,41042
H <sub>steam</sub>	60972,58813	H <sub>condensate</sub>	29809,80664
Total	61358,21706	Total	61358,21706

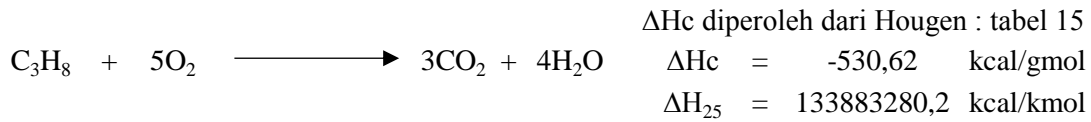
## 2. Furnace



**Neraca Panas Furnace :**

$$\begin{aligned} \text{Panas Masuk} &= \text{Panas Keluar} \\ H_{12} + H_4 &= H_{\text{flue gas}} + H_{\text{panas keluar}} \end{aligned}$$

Reaksi Pembakaran yang terjadi



Data  $C_p$  (gas) yang diperoleh dari Himmelblau Appendix E menggunakan rumus :

$$a + b \times T + c \times T^2 + d \times T^3$$

**Tabel B.2.1** Data koefisien Perhitungan Heat Capacities

Komponen	a	b x 10 <sup>2</sup>	c x 10 <sup>5</sup>	d x 10 <sup>9</sup>
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	68,032	22,59	-13,11	31,71
O <sub>2</sub>	29,1	1,158	-0,6076	1,311
CO <sub>2</sub>	36,11	4,233	-2,887	7,464
H <sub>2</sub> O	33,46	0,688	0,7604	-3,593
Udara	28,94	0,4147	0,3191	-1,965
N <sub>2</sub>	29	0,2199	0,5723	-2,871

Gas yang masuk :

$$\text{C}_3\text{H}_8 \text{ dari Distilasi} = 249,0644 \text{ kmol}$$

$$130\% \text{ Excess O}_2 = 249,0644 \times 5 \times 1,3$$

$$= 1618,918594 \text{ kmol}$$

$$\text{N}_2 \text{ di udara} = 1618,9186 \text{ kmol} \times 79/21$$

$$= 6090,217568 \text{ kmol}$$

$$\text{Udara} = 1618,918594 + 6090,217568$$

$$= 7709,136162 \text{ kmol}$$

Gas yang keluar :

$$\text{CO}_2 = 3 \times 249,0643991$$

$$= 747,1931973 \text{ kmol}$$

$$\text{O}_2 = 1618,9186 - (249,0644 \times 5)$$

$$= 373,5965986 \text{ kmol}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 4 \times 249,0643991$$

$$= 996,2575964 \text{ kmol}$$

$$\text{N}_2 = 6090,217568 \text{ kmol}$$

**Tabel B.2.2** Perhitungan gas masuk

Komposisi	BM	Kg	kmol	$\int C_p dT$	H
Aliran 12					
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,1	10983,74	249,064	230320645	13701322,7
Aliran 4					
Udara	29	223564,949	7709,14	69506,0181	127981176,4

$Q_{12} + Q_4$	1168634582
----------------	------------

**Tabel B.2.3** Perhitungan gas keluar

Komposisi	BM	Kg	kmol	$\int Cp dT$	H
<i>Flue gas ke Boiler melewati reaktor Pirolisis</i>					
N <sub>2</sub>	28,02	170647,896	6090,2176	4157454,763	6047533,915
O <sub>2</sub>	32	11955,0912	373,5966	4391426,687	391856,0198
CO <sub>2</sub>	44,01	32883,9726	747,1932	6272500,822	1119416,254
H <sub>2</sub> O	18,016	17948,5769	996,2576	4982525,662	1185602,653
$Q_{\text{flue}}$					8744408,842

**Neraca Panas Furnace :**

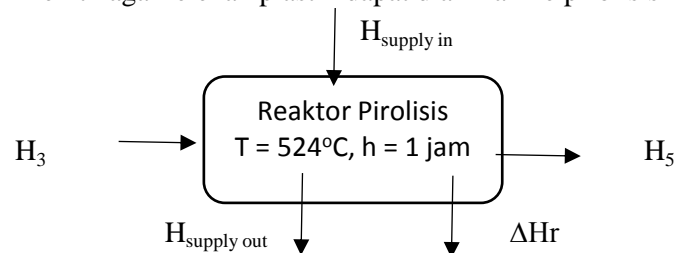
$$\begin{aligned}
 \text{Panas Masuk} &= \text{Panas Keluar} \\
 H_{12} + H_4 + \Delta H_{25} &= H_{\text{flue gas}} + H_{\text{panas keluar}} \\
 1168634582 + 133883280,2 &= 8744408,842 + H_{\text{panas keluar}} \\
 H_{\text{panas keluar}} &= 1293773454
 \end{aligned}$$

**Tabel B.2.4** Neraca Panas Furnace

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
H12 (dari D 310)		H <sub>flue gas</sub> (Ke R210)	
<b>Aliran 12</b>		N <sub>2</sub>	6047533,915
H <sub>12</sub>	1040653406	O <sub>2</sub>	391856,0198
<b>Aliran 4</b>		CO <sub>2</sub>	1119416,254
H <sub>4</sub>	127981176,4	H <sub>2</sub> O	1185602,653
		H <sub>panas keluar</sub> (Ke R210)	
		H <sub>panas keluar</sub>	1293773454
ΔH25	133883280,2		
Total	1302517862	Total	1302517862

**3. Reaktor Pirolisis**

Fungsi : untuk tempat terjadi reaksi pirolisis (tanpa O<sub>2</sub>) untuk mengubah lelehan plastik menjadi senyawa hidrokarbon rantai panjang dengan menggunakan pompa sentrifugal parker Hannin Zenith agar lelehan plastik dapat dialirkan ke pirolisis

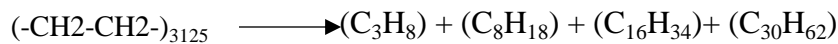


$$\begin{aligned}
 \text{Neraca Panas :} \quad \text{panas masuk} &= \text{panas keluar} \\
 H_3 + H_{\text{supply in}} &= H_5 + \Delta H_R + H_{\text{supply out}}
 \end{aligned}$$

**Tabel B.3.1** Nilai panas masuk dan panas keluar pada Reaktor Pirolisis

Komponen	BM	m (kg)	m (kmol)	Cp	ΔT (K)	H (kkal)
Aliran 3:						
PE	87500	549242	6,277051	18,55681	225	26208,46141
Qsensible						26208,46141
Aliran 3	BM	m (kg)	m (kmol)	ΔH <sub>f</sub>		H (kkal)
PE	87500	549242	6,2770514	783,4638		4917,842565
Q <sub>3</sub>						31126,30398
Aliran 5	BM	m (kg)	m (kmol)	∫ Cp dT		
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,1	10984,84	249,0893	254411525		15135957,51
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	114,232	252651,32	2211,739	564418260		298162361,2
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	226,448	186742,28	824,6586	1182418242		232896660,6
C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	422,826	98863,56	233,8162	2517624340		140599398,1
Q <sub>5</sub>						686794377,4

Reaksi yang Terjadi:

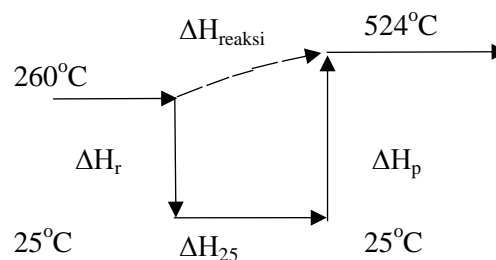


(*Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastic. W Kaminsky.2006*)

Diketahui : Heat of formation tiap komponen

Komponen	$\Delta H_f$ (Kkal/kmol)
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-14017,5684
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	-21720,9168
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	-36500,8688
C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	-89963,6034

Panas Reaksi yang Terjadi:



> Menghitung  $\Delta H_{25}$

$$\begin{aligned} \Delta H_{25} &= \sum \Delta H_{produk} - \sum \Delta H_{reaktan} \\ &= [(n C_3H_8 \times \Delta H_f C_3H_8) + (n C_8H_{16} \times \Delta H_f C_8H_{16}) + (n C_{16}H_{34} \times \Delta H_f C_{16}H_{34}) \\ &\quad + (n C_{30}H_{64} \times \Delta H_f C_{30}H_{64})] - [(n PE \times \Delta H_f PE)] \end{aligned}$$

> n = Banyaknya mol (kmol)

**Tabel B.3.2** Perhitungan  $\Delta H_{25}$ 

Komponen	Koef rx	m (kg)	BM	Kmol	$\Delta H_f$ (Kkal/kmol)	H (Kcal)
$\Delta H_{produk}$						
PE	1	549242	87500	6,2771	783,4638	4917,842565



$\Delta H_{\text{reaktan}}$						
$C_3H_8$	1	10984,84	44,1	249,09	-14017,5684	-3491626,895
$C_8H_{16}$	1	252651,32	114,232	2211,7	-21720,9168	-48040989,4
$C_{16}H_{34}$	1	186742,28	226,448	824,66	-36500,8688	-30100753,65
$C_{30}H_{62}$	1	98863,56	422,826	233,82	-89963,6034	-21034946,06
$\Delta H_{25}$						-102673233,8

> Menghitung  $\Delta H_{\text{reaktan}}$

$$\Delta H_{\text{reaktan}} = (m \text{ PE} \times C_p \times \Delta T)$$

**Tabel B.3.3** Perhitungan  $\Delta H_{\text{reaktan}}$

Komponen	BM	m (kg)	m (kmol)	$C_p$	$\Delta T$ (K)	H (kkal)
PE	87500	549242	6,2770514	18,55681	-235	-27373,28
$\Delta H_{\text{reaktan}}$						-27373,28

> Menghitung  $\Delta H_{\text{produk}}$

$$\Delta H_{\text{produk}} = [(m C_3H_8 \times \Delta H_f C_3H_8) + (m C_8H_{16} \times \Delta H_f C_8H_{16}) + (m C_{16}H_{34} \times \Delta H_f C_{16}H_{34}) + (m C_{30}H_{64} \times \Delta H_f C_{30}H_{64})]$$

**Tabel B.3.4** Perhitungan  $\Delta H_{\text{produk}}$

Komponen	BM	m (kg)	m (kmol)	$\int C_p dT$	H (kkal)
$C_3H_8$	44,1	10984,84	249,08934	254411525	15135957,51
$C_8H_{16}$	114,232	252651,32	2211,7386	564418260	298162361,2
$C_{16}H_{34}$	226,448	186742,28	824,65855	1182418242	232896660,6
$C_{30}H_{62}$	422,826	98863,56	233,81618	2517624340	140599398,1
$\Delta H_{\text{produk}}$					686794377,4

$\Delta H_{\text{reaksi}}$  pada 524 °C :

$$\begin{aligned} &= \Sigma \Delta H_{25} + \Sigma \Delta H_{\text{produk}} - \Sigma \Delta H_{\text{reaktan}} \\ &= -102673233,8 + 686794377,4 - (-27373,28) \\ &= 584148516,8 \text{ kkal} \end{aligned}$$

Karena  $\Delta H$  reaksi bernilai positif sehingga reaksi yang terjadi adalah reaksi endotermis

### 3.1 Perhitungan Qsupply Out

$$\begin{aligned} \text{Neraca Panas :} \quad \text{panas masuk} &= \text{panas keluar} \\ H_3 + H_{\text{supply in}} &= H_5 + \Delta H_R + H_{\text{supply Out}} \\ 31126,30398 + 1302517862 &= 686794377,4 + 584148516,8 + H_{\text{supply Out}} \\ 1302548989 &= 1270942894 + H_{\text{supply Out}} \\ H_{\text{supply Out}} &= 31606094,54 \end{aligned}$$

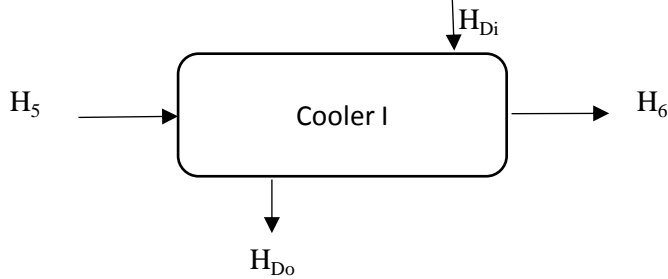
**Tabel B.2.5** Neraca Panas Reaktor Pirolisis

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
H3 (ke R 210)		H5 (ke E212)	
<b>Aliran 3</b>		<b>Aliran 5</b>	
PE	31126,30398	$C_3H_8$	15135957,51

		$C_8H_{16}$	298162361,2
		$C_{16}H_{34}$	232896660,6
$Q_{\text{supply In}}$	1302517862	$C_{30}H_{62}$	140599398,1
		$\Delta H_R$	584148516,8
		$Q_{\text{supply out}}$	31606094,54
Total	1302548989	Total	1302548989

#### 4. Cooler

Fungsi : untuk menurunkan temperature dari reaktor pirolisis (524C - 420C)



#### Neraca Panas Cooler :

Panas Masuk = Panas Keluar

$$H_5 + H_{Di} = H_6 + H_{Do}$$

Diketahui fluida pendingin menggunakan Dowtherm A

Data Cp diperoleh dari Technical Data sheet of Dowtherm A (<http://www.dowtherm.com>)

$$C_p = 2,842 \text{ kJ/kg} = 0,67880033 \text{ kkal/kg} \quad T = 425 \text{ C}$$

$$C_p = 1,616 \text{ kJ/kg} = 0,38597514 \text{ kkal/kg} \quad T = 35 \text{ C}$$

**Tabel B.4.1** Nilai panas Masuk dan keluar pada cooler

Komponen	BM	m (kg)	m (kmol)	Cp	H (kkal)
<i>Aliran 5</i>					
$C_3H_8$	44,1	10984,84	249,08934	254411525	15135957,51
$C_8H_{16}$	114,232	252651,32	2211,7386	564418260	298162361,2
$C_{16}H_{34}$	226,448	186742,28	824,65855	1182418242	232896660,6
$C_{30}H_{62}$	422,826	98863,56	233,81618	2517624340	140599398,1
$H_5$					686794377,4
<i>Aliran 6</i>					
$C_3H_8$	44,1	10984,84	249,08934	250569445	14907376,83
$C_8H_{16}$	114,232	252651,32	2211,7386	554388300	292863885,3
$C_{16}H_{34}$	226,448	186742,28	824,65855	1162968822	229065778,4
$C_{30}H_{62}$	422,826	98863,56	233,81618	2493588400	139257085,6
$H_6$					676094126,1

#### 4.1 Perhitungan $H_{Di}$ dan $H_{Do}$

$$\begin{aligned} H_{Di} &= m \times c_p \times \Delta T \\ &= m \times 0,38597514 \times 10 \\ &= 3,85975136 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{Do} &= m \times c_p \times \Delta T \\ &= m \times 0,67880033 \times 400 \\ &= 271,5201328 \text{ m} \end{aligned}$$

**Neraca Panas :**

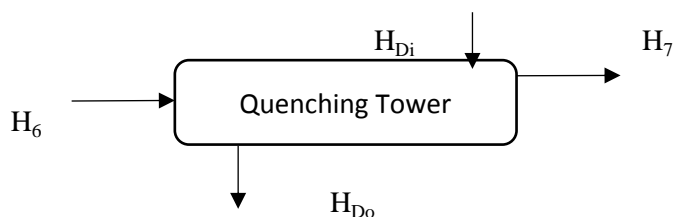
$$\begin{aligned} \text{panas masuk} &= \text{panas keluar} \\ H_5 + H_{Di} &= H_6 + H_{Do} \\ H_{Di} - H_{Do} &= H_6 - H_5 \\ 3,859751 \text{ m} - 271,52 \text{ m} &= 676094126,1 - 686794377,4 \\ -267,66 \text{ m} &= -10700251,3 \\ m &= 39976,97098 \text{ kg} \end{aligned}$$

**Tabel B.4.2** Neraca Panas cooler

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$H_5$ (ke E212) <b>Aliran 5</b>		$H_6$ (ke E222) <b>Aliran 6</b>	
$C_3H_8$	15135957,51	$C_3H_8$	14907376,83
$C_8H_{16}$	298162361,2	$C_8H_{16}$	292863885,3
$C_{16}H_{34}$	232896660,6	$C_{16}H_{34}$	229065778,4
$C_{30}H_{62}$	140599398,1	$C_{30}H_{62}$	139257085,6
$H_{Di}$	154301,1681	$H_{Do}$	10854552,47
Total	686948678,5	Total	686948678,5

#### 5. Quenching Tower

Fungsi : Untuk mendinginkan secara mendadak fluida hasil pirolisis dengan pendingin yang tidak mengalami kontak langsung (indirect)



**Neraca Panas :**

$$\begin{aligned}\text{Panas Masuk} &= \text{Panas Keluar} \\ H_6 + H_{Di} &= H_7 + H_{Do}\end{aligned}$$

**Tabel B.5.1** Nilai panas Masuk dan keluar pada Quenching Tower

Komponen	BM	m (kg)	m (kmol)	$\int C_p dT$	H (kkal)
<i>Aliran 6</i>					
$C_3H_8$	44,1	10984,84	249,08934	250569445	14907376,83
$C_8H_{16}$	114,232	252651,32	2211,7386	554388300	292863885,3
$C_{16}H_{34}$	226,448	186742,28	824,65855	1162968822	229065778,4
$C_{30}H_{62}$	422,826	98863,56	233,81618	2493588400	139257085,6
$H_6$					676094126,1
<i>Aliran 7</i>					
$C_3H_8$	44,1	10984,84	249,08934	241223845	14351369,76
$C_8H_{16}$	114,232	252651,32	2211,7386	529991100	279975700,6
$C_{16}H_{34}$	226,448	186742,28	824,65855	1115659422	219747416,3
$C_{30}H_{62}$	422,826	98863,56	233,81618	2435122600	135992001
$H_7$					650066487,8

**5.1 Perhitungan  $H_{Di}$  dan  $H_{Do}$** 

Diketahui fluida pendingin menggunakan Dowtherm A

Data  $C_p$  diperoleh dari Technical Data sheet of Dowtherm A (<http://www.dowtherm.com>)

$$C_p = 2,842 \text{ kJ/kg} = 0,6788003 \text{ kkal/kg} \quad T = 425 \text{ C}$$

$$C_p = 1,616 \text{ kJ/kg} = 0,3859751 \text{ kkal/kg} \quad T = 35 \text{ C}$$

$$\begin{aligned}H_{Di} &= m \times c_p \times \Delta T \\ &= m \times 1,616 \times 10 \\ &= 16,16 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H_{Do} &= m \times c_p \times \Delta T \\ &= m \times 2,842 \times 400 \\ &= 1136,8 \text{ m}\end{aligned}$$

**Neraca Panas :**

$$\begin{aligned}\text{panas masuk} &= \text{panas keluar} \\ H_6 + H_{Di} &= H_7 + H_{Do} \\ H_{Di} - H_{Do} &= H_7 - H_6 \\ 16,16 \text{ m} - 1136,8 \text{ m} &= 650066487,8 - 676094126,1 \\ -1120,64 \text{ m} &= -26027638,3 \\ &\text{m} = 23225,69094 \text{ kmol}\end{aligned}$$

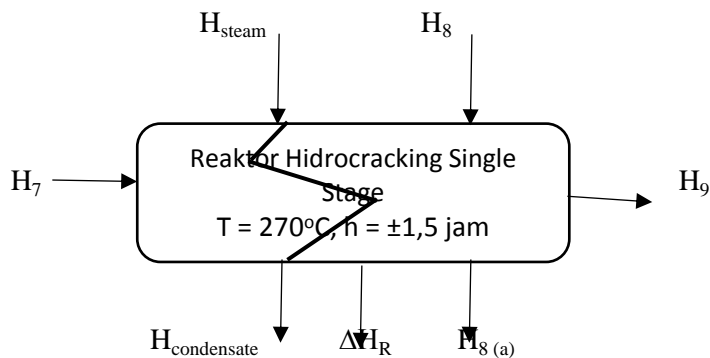
**Tabel B.5.2** Neraca Panas Quenching Tower

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
Q <sub>6</sub> (ke E222) <b>Aliran 6</b>		Q <sub>7</sub> (ke R230) <b>Aliran 7</b>	
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	14907376,83	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	14351369,76
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	292863885,3	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	279975700,6
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	229065778,4	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	219747416,3
C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	139257085,6	C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	135992001
Q <sub>Di</sub>	375327,1657	Q <sub>Do</sub>	26402965,47
Total	676469453,2	Total	676469453,2

### 6. Reaktor Hidrocracking Single Stage

Fungsi : untuk tempat perengkahan senyawa hidrokarbon rantai panjang secara catalytic dengan injeksi gas H<sub>2</sub> pada Temperatur dan tekanan tinggi.

Reaksi yang terjadi sebagai berikut :



**Neraca Panas :** panas masuk = panas keluar

$$H_7 + H_{\text{steam}} + H_8 = H_9 + H_{8(a)} + \Delta H_R + H_{\text{condensate}}$$

Data Cp (gas) yang diperoleh dari Himmelblau Appendix E menggunakan rumus :

$$a + b \times T + c \times T^2 + d \times T^3$$

**Tabel B.2.1** Data koefisien Heat Capacities

Komponen	a	b x10 <sup>2</sup>	c x10 <sup>5</sup>	d x10 <sup>9</sup>
H <sub>2</sub>	28,84	0,00765	0,3288	-0,8698

**Tabel B.6.1** Nilai panas Masuk dan keluar pada Reaktor Hidrocracking

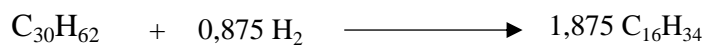
Komponen	BM	m (kg)	m (kmol)	∫ Cp dT	H (kkal)
<b>Aliran 7</b>					
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,1	10984,84	249,08934	241223845	14351369,76
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	114,232	252651,32	2211,7386	529991100	279975700,6

C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	226,448	186742,28	824,65855	1115659422	219747416,3
C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	422,826	98863,56	233,81618	2435122600	135992001
H <sub>7</sub>					650066487,8
Aliran 8					
H <sub>2</sub>	2,016	423,36	210	9412,23777	472,0958219
H <sub>8</sub>					472,0958219
Aliran 9					
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,1	10984,84	249,08934	241223845	14351369,76
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	114,232	252651,32	2211,7386	529991100	279975700,6
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	226,448	286018,29	1263,0639	1115659422	336569630,9
H <sub>9</sub>					630896701,3
Aliran 8 (a)					
H <sub>2</sub>	2,016	10,91	5,4117063	9412,23777	12,1659236
H <sub>8 (a)</sub>					12,1659236

Diketahui :

Yang terhidrocracking yaitu senyawa C<sub>30</sub>H<sub>62</sub>

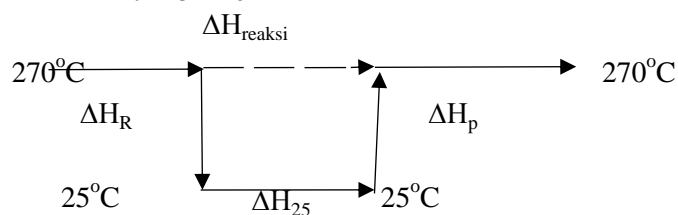
Reaksi :



Diketahui : Heat of formation tiap komponen

Komponen	$\Delta H_f$ (Kkal/kmol)
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-14017,5684
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	-21720,9168
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	-36500,8688
C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	-89963,6034

Panas Reaksi yang Terjadi:



> Menghitung  $\Delta H_{25}$

$$\begin{aligned} \Delta H_{25} &= \sum \Delta H_{\text{produk}} - \sum \Delta H_{\text{reaktan}} \\ &= [(n \text{ Base Oil} \times \Delta H_f \text{ Base Oil})] - [(n \text{ H}_2 \times \Delta H_f \text{ H}_2) + (n \text{ Residu} \times \Delta H_f \text{ Residu})] \end{aligned}$$

> n = Banyaknya mol (kmol)

**Tabel B.6.2** Perhitungan  $\Delta H_{25}$

Komponen	Koef rx	m (kg)	BM	Kmol	$\Delta H_f$ (Kkal/kmol)	H (Kcal)
C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	1	98863,56	422,826	233,82	-89963,6034	-21034946,06
H <sub>2</sub>	0,875	423,36	1,764	240	0	0

$C_{16}H_{34}$	1,875	286018,29	536284,29	0,5333	-36500,8688	-19467,13003
$\Delta H_{25}$						21015478,93

> Menghitung  $\Delta H_{reaktan}$

$$\Delta H_{reaktan} = [(m C_{30}H_{62} \times Cp \times \Delta T) + (m H_2 \times Cp \times \Delta T)]$$

**Tabel B.6.3** Perhitungan  $\Delta H_{reaktan}$

Komponen	BM	m (kg)	m (kmol)	$\int Cp dT$	H (Kcal)
$C_{30}H_{62}$	422,826	98863,56	233,81618	211629445	11818670,53
$H_2$	1,764	423,36	240	-9409,00948	-539,3530268
$\Delta H_{reaktan}$					11818131,17

> Menghitung  $\Delta H_{produk}$

$$\Delta H_{produk} = (m C_{16}H_{34} \times Cp \times \Delta T)$$

**Tabel B.6.4** Perhitungan  $\Delta H_{reaktan}$

Komponen	BM	m (kg)	m (kmol)	$\int Cp dT$	H (Kcal)
$C_{16}H_{34}$	226,448	286018,29	1263,0639	1115659422	336569630,9
$\Delta H_{produk}$					336569630,9

$$\Delta H_{reaksi} :$$

$$\begin{aligned}
 &= \Sigma \Delta H_{25} + \Sigma \Delta H_{produk} - \Sigma \Delta H_{reaktan} \\
 &= 21015478,93 + 336569630,9 - (11818131,17) \\
 &= 345766978,7 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

### 6.1 Perhitungan $H_{steam}$ dan $H_{Condensate}$

Diketahui :

$$H_v = 656,587654 \text{ kkal/kg}$$

$$H_L = 321,009024 \text{ kkal/kg}$$

$$T = 300^\circ C$$

$$P = 85,81 \text{ bar}$$

$$\begin{aligned}
 H_{steam} &= m_{steam} \times H_v \\
 &= m_{steam} \times 656,587654
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{condensate} &= m_{steam} \times H_L \\
 &= m_{steam} \times 321,009024
 \end{aligned}$$

**Neraca Panas :**

$$\begin{aligned}
 \text{panas masuk} &= \text{panas keluar} \\
 H_7 + H_{steam} + H_8 &= H_9 + H_{8(a)} + \Delta H_R + H_{condensate} \\
 H_{steam} - H_{condensate} &= H_9 + H_{8(a)} + \Delta H_R - H_7 - H_8 \\
 (m_{steam} \times H_v) - (m_{steam} \times H_L) &= 6,3E+08 + 12,166 + 3,46E+08 - 6,5E+08 - 472,0958
 \end{aligned}$$

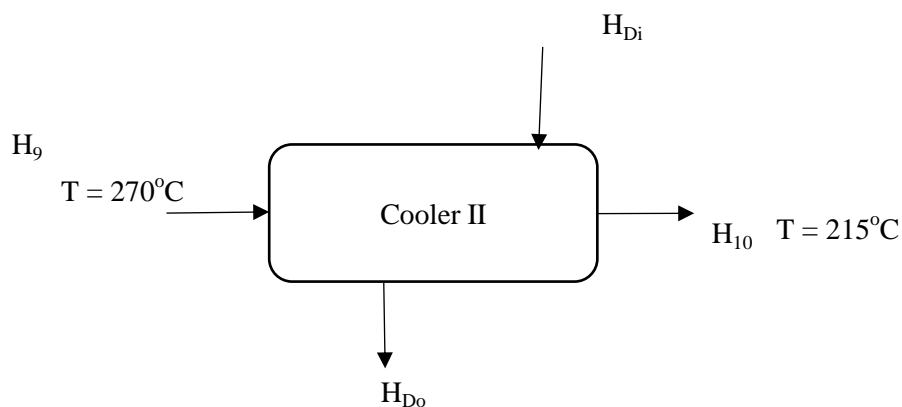
$$\begin{aligned}
 m_{\text{steam}} \times (H_v - H_L) &= 326596732,3 \\
 m_{\text{steam}} \times (656,587654 - 321,009024) &= 326596732,3 \\
 m_{\text{steam}} \times (335,57863) &= 326596732,3 \\
 m_{\text{steam}} &= 973234,5956 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

**Tabel B.6.5** Neraca Panas Reaktor Hidrocracking

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
H <sub>7</sub> (dari E220) <b>Aliran 7</b>		H <sub>9</sub> (ke E234) <b>Aliran 9</b>	
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	14351369,76	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	14351369,76
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	279975700,6	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	279975700,6
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	219747416,3	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	336569630,9
C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	135992001	ΔHR	345766978,7
H <sub>8</sub> (dari E220) <b>Aliran 8</b>		H <sub>8(a)</sub> (ke F231)	
H <sub>2</sub>	472,0958219	H <sub>2</sub>	12,1659236
H <sub>steam</sub>	639013819,9	H <sub>condensate</sub>	312417087,7
Total	1289080780	Total	1289080780

## 7. Cooler II

Fungsi : untuk menurunkan temperature dari reaktor Hidrocracking (270°C - 212°C)



### Neraca Panas Cooler :

$$\text{Panas Masuk} = \text{Panas Keluar}$$

$$H_9 + H_{Di} = H_{10} + H_{Do}$$

Diketahui fluida pendingin menggunakan Dowtherm A

Data Cp diperoleh dari Technical Data sheet of Dowtherm A (<http://www.dowtherm.com>)

$$C_p = 2,218 \text{ kJ/kg} = 0,52976043 \text{ kkal/kg} \quad T = 250 \text{ C}$$

$$C_p = 1,616 \text{ kJ/kg} = 0,38597514 \text{ kkal/kg} \quad T = 35 \text{ C}$$

**Tabel B.7.1** Nilai panas Masuk dan keluar pada cooler II



Komponen	BM	m (kg)	m (kmol)	$\int C_p dT$	H (kkal)
<i>Aliran 9</i>					
$C_3H_8$	44,1	10984,84	249,08934	241223845	14351369,76
$C_8H_{16}$	114,232	252651,32	2211,7386	529991100	279975700,6
$C_{16}H_{34}$	226,448	186742,28	824,65855	1115659422	219747416,3
$H_9$					514074486,7
<i>Aliran 10</i>					
$C_3H_8$	44,1	10984,84	249,08934	238368245	14181478,72
$C_8H_{16}$	114,232	252651,32	2211,7386	48438,04039	25588,11704
$C_{16}H_{34}$	226,448	186742,28	824,65855	51722,009	10187,49774
$H_{10}$					14217254,33

### 7.1 Perhitungan $H_{Di}$ dan $H_{Do}$

$$\begin{aligned}
 H_{Di} &= m \times c_p \times \Delta T \\
 &= m \times 0,3859751 \times 10 \\
 &= 3,85975136 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{Do} &= m \times c_p \times \Delta T \\
 &= m \times 0,5297604 \times 225 \\
 &= 119,1960963 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**Neraca Panas :**

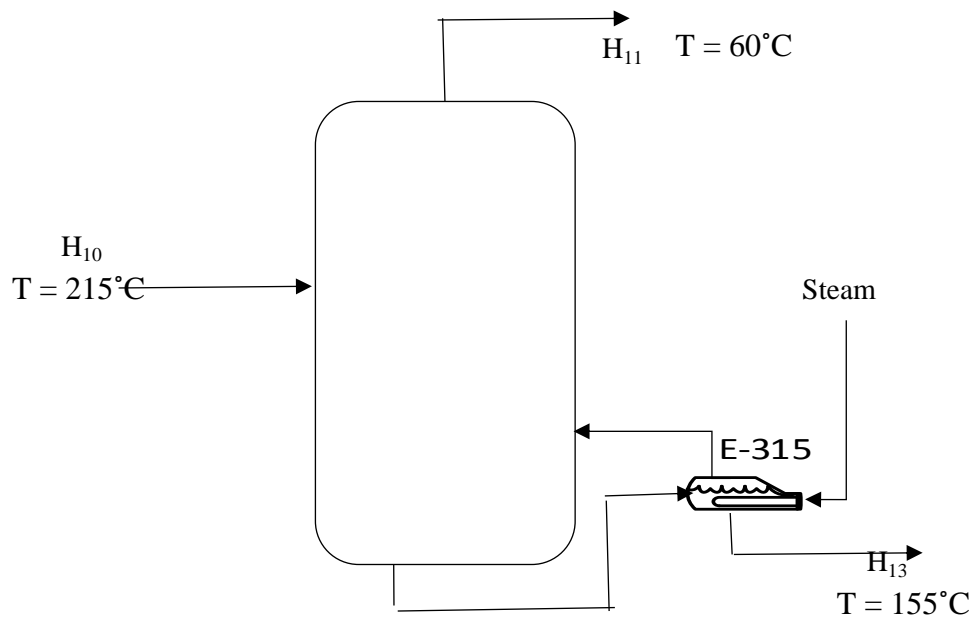
$$\begin{aligned}
 \text{panas masuk} &= \text{panas keluar} \\
 H_9 + H_{Di} &= H_{10} + H_{Do} \\
 H_{Di} - H_{Do} &= H_{10} - H_9 \\
 3,859751 \text{ m} - 119,2 \text{ m} &= 14217254,33 - 514074486,7 \\
 -115,3 \text{ m} &= -499857232,4 \\
 m &= 4333909,078 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

**Tabel B.7.2** Neraca Panas cooler II

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$H_9$ (Dari R230)		$H_{10}$ (ke D310)	
<b>Aliran 9</b>		<b>Aliran 10</b>	
$C_3H_8$	14351369,76	$C_3H_8$	14181478,72
$C_8H_{16}$	279975700,6	$C_8H_{16}$	25588,11704
$C_{16}H_{34}$	219747416,3	$C_{16}H_{34}$	10187,49774
$H_{Di}$	16727811,46	$H_{Do}$	516585043,9
Total	530802298,2	Total	530802298,2

## 8. Distilasi Atmosferik I

Fungsi : untuk memisahkan senyawa  $C_3H_8$  dari  $C_8H_{16}$  dan  $C_{16}H_{34}$   
berdasarkan Boiling Point masing-masing senyawa



### Neraca Panas :

$$\begin{aligned} \text{Panas Masuk} &= \text{Panas Keluar} \\ H_{10} + H_{\text{reboiler}} &= H_{11} + H_{13} \\ H_{10} + H_{\text{reboiler}} &= D.H_d + B.H_b \end{aligned}$$

**Tabel B.8.1** Nilai panas Masuk dan keluar pada Distilasi I

Komponen	BM	m (kg)	m (kmol)	$\int Cp dT$	H (kkal)
<i>Aliran 10</i>					
$C_3H_8$	44,1	10984,84	249,08934	238368245	14181478,72
$C_8H_{16}$	114,232	252651,32	2211,7386	48438,04039	25588,11704
$C_{16}H_{34}$	226,448	186742,28	824,65855	51722,009	10187,49774
$H_{10}$					14217254,33
<i>Produk Distilat</i>					
$C_3H_8$	44,1	10983,74	249,0644	230320645	13701322,7
$C_8H_{16}$	114,232	25,27	0,2212165	501527700	26499,05328
$C_{16}H_{34}$	226,448	0	0	1060465122	0
$H_{11}$					13727821,75
<i>Bottom</i>	BM	m (kg)	m (kmol)	$\Delta H_v$	H (kkal)
$C_3H_8$	44,1	1,1	0,0249433	5157,479657	128,6446173
$C_8H_{16}$	114,232	252626,05	2211,5174	11350,77057	25102426,07
$C_{16}H_{34}$	226,448	286018,29	1263,0639	20412,89386	25782788,97
$H_{13}$					50885343,68

### 8.1 Perhitungan $H_{\text{reboiler}}$

Diketahui :

$$H_v = 656,587654 \text{ kkal/kg}$$

$$T = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P = 85,81 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{reboiler}} &= m_{\text{steam}} \times H_v \\ &= m_{\text{steam}} \times 656,587654 \end{aligned}$$

### Neraca Panas :

$$\text{Panas Masuk} = \text{Panas Keluar}$$

$$H_{10} + H_{\text{reboiler}} = H_{11} + H_{13}$$

$$H_{10} = H_{11} + H_{13} - H_{\text{reboiler}}$$

$$H_{10} = H_{11} + H_{13} - (m_{\text{steam}} \times H_v)$$

$$14217254,33 = 13727821,75 + 50885343,68 - m_{\text{steam}} \times 656,5877$$

$$-50395911,1 = - m_{\text{steam}} \times 656,587654$$

$$-76754,27765 = - m_{\text{steam}}$$

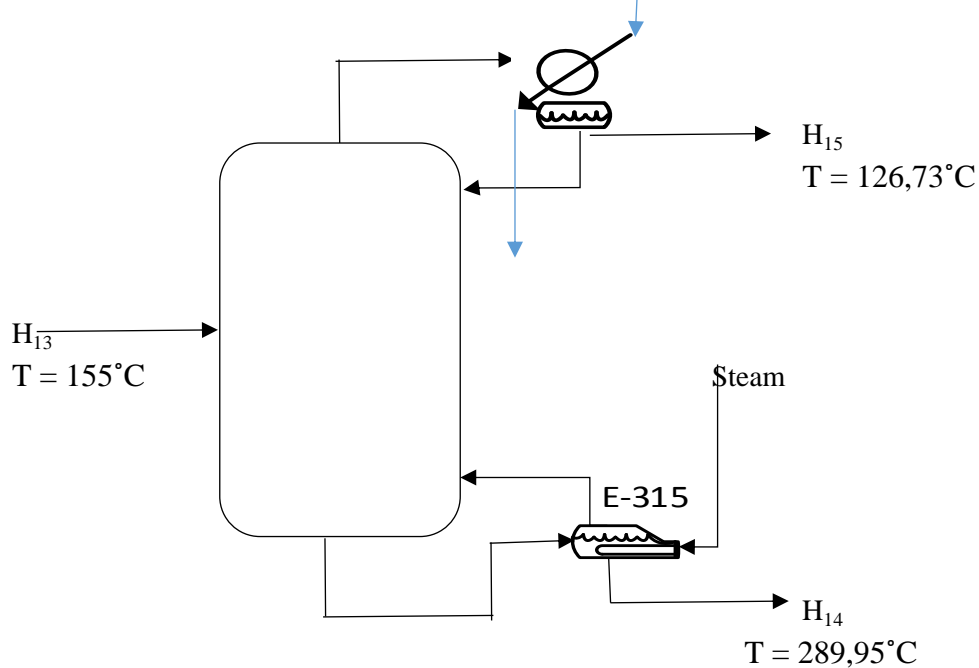
$$m_{\text{steam}} = 76754,27765 \text{ kg}$$

**Tabel B.8.2** Neraca Panas Distilasi I

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
$H_{10}$ (Dari E234)		$H_{11}$ (ke G313)	
<b>Aliran 10</b>		<b>Aliran 11</b>	
$C_3H_8$	14181478,72	$C_3H_8$	13701322,7
$C_8H_{16}$	25588,11704	$C_8H_{16}$	26499,05328
$C_{16}H_{34}$	10187,49774	$C_{16}H_{34}$	0
$H_{\text{reboiler}}$	50395911,1	$H_{13}$ (ke D320)	
		<b>Aliran 13</b>	
		$C_3H_8$	128,6446173
		$C_8H_{16}$	25102426,07
		$C_{16}H_{34}$	25782788,97
<b>Total</b>	64613165,43	<b>Total</b>	64613165,43

### 9. Distilasi Atmosferik II

Fungsi : untuk memisahkan senyawa  $C_8H_{16}$  dan  $C_{16}H_{34}$   
berdasarkan Boiling Point masing-masing senyawa



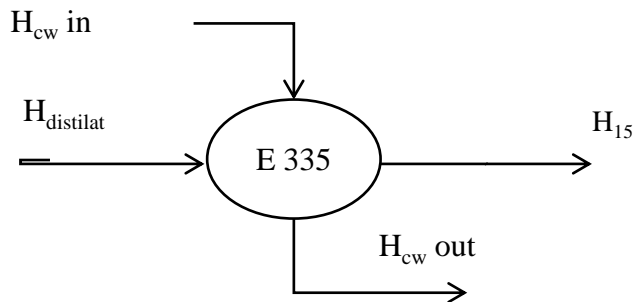
#### Neraca Panas :

$$\begin{aligned} \text{Panas Masuk} &= \text{Panas Keluar} \\ H_{13} + H_{\text{reboiler}} &= H_{\text{distilat}} + H_{14} + H_{15} \\ H_{13} + H_{\text{reboiler}} &= D.H_d + B.H_b + H_{15} \end{aligned}$$

**Tabel B.9.1** Nilai panas Masuk dan keluar pada Distilasi II

Komponen	BM	m (kg)	m (kmol)	$\Delta H_V$	H (kkal)
<i>Aliran 13</i>					
$C_3H_8$	44,1	1,1	0,0249433	5157,479657	0,030726252
$C_8H_{16}$	114,232	252626,05	2211,5174	11350,77057	5995,614056
$C_{16}H_{34}$	226,448	286018,29	1263,0639	20412,89386	6158,116014
$H_{13}$					12153,7608
<i>Produk Distilat</i>					
$C_3H_8$	44,1	1,1	0,0249433	$\int C_p dT$	H (kkal)
$C_8H_{16}$	114,232	252600,79	2211,2962	1449615,069	8,636241199
$C_{16}H_{34}$	226,448	25,26	0,1115488	6732956,801	3556073,464
$H_{\text{distilat}}$					58,42620248
$H_{\text{distilat}}$					3556131,89
<i>Bottom</i>					
$C_3H_8$	44,1	0	0	3804126,65	0
$C_8H_{16}$	114,232	28,6	0,2503677	17580847,4	1051,32267
$C_{16}H_{34}$	226,448	285989,69	1262,9376	5871682,457	1771178,863
$H_{14}$					1772230,186

### 9.1 Menghitung neraca panas Kondensor



**Tabel B.9.2** Nilai panas Masuk dan keluar pada Kondensor

Komponen	BM	m (kg)	m (kmol)	$\int C_p dT$	H (kkal)
<i>Produk Distilat</i>					
$C_3H_8$	44,1	1,1	0,0249433	1449615,069	8,636241199
$C_8H_{16}$	114,232	252600,79	2211,2962	6732956,801	3556073,464
$C_{16}H_{34}$	226,448	25,26	0,1115488	2192930,309	58,42620248
$H_{distilat}$					3556131,89
<i>Menghitung panas laten aliran keluar</i>					
Komponen	BM	m (kg)	m (kmol)	$\Delta H_V$	H (kkal)
$C_8H_{16}$	114,232	252600,79	2211,2962	11600,40652	6126,862093
$H_{15}$					6126,862093

#### 9.1.1 Menghitung Kebutuhan Cooling Water pada kondensor

$$C_p \text{ Air } T = 45^\circ\text{C} = 0,9987 \text{ kkal/kg}$$

$$C_p \text{ Air } T = 30^\circ\text{C} = 0,99895 \text{ kkal/kg}$$

$$\begin{aligned} H_{Cw \text{ in}} &= m \times c_p \times \Delta T \\ &= m \times 0,99895 \times 5 \\ &= 4,99475 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{Cw \text{ out}} &= m \times c_p \times \Delta T \\ &= m \times 0,9987 \times 20 \\ &= 19,974 \text{ m} \end{aligned}$$

#### Neraca Panas Kondensor

$$\begin{aligned} H_{distilat} + H_{cw \text{ in}} &= H_{15} + H_{cw \text{ out}} \\ 3556131,9 + 4,99475 \text{ m} &= 6126,862093 + 19,974 \text{ m} \\ 3550005,028 &= 14,97925 \text{ m} \\ m &= 236994,84 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 8.1 Perhitungan $Q_{reboiler}$

Diketahui :

$$H_v = 656,587654 \text{ kkal/kg}$$

$$H_L = 321,02784 \text{ kkal/kg}$$

$$T = 300^\circ\text{C}$$

$$P = 21,028 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} H_{reboiler} &= m_{\text{steam}} \times (H_v - H_L) \\ &= m_{\text{steam}} \times 335,559814 \end{aligned}$$

**Neraca Panas :**

$$\begin{aligned}
 \text{Panas Masuk} &= \text{Panas Keluar} \\
 H_{13} + H_{\text{reboiler}} &= H_{15} + H_{14} + H_{\text{distilat}} \\
 H_{13} &= H_{15} + H_{14} + H_{\text{distilat}} - H_{\text{reboiler}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 12153,7608 &= 6126,862093 + 1772230,186 + 3556132 - 335,56 \, m_{\text{steam}} \\
 -5322335,177 &= - m_{\text{steam}} \times 335,559814 \\
 -15861,06249 &= - m_{\text{steam}} \\
 m_{\text{steam}} &= 15861,06249 \, \text{kg}
 \end{aligned}$$

**Tabel B.9.2** Neraca Panas Distilasi II

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
H <sub>13</sub> (Dari D310)			
<b>Aliran 13</b>		<b>Produk Distilat</b>	
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,030726252	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	8,636241199
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	5995,614056	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	3556073,464
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	6158,116014	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	58,42620248
H <sub>reboiler</sub>	5322335,177	<b>Aliran 15</b>	H <sub>15</sub> (ke F230)
		C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	6126,862093
		<b>Aliran 14</b>	H <sub>14</sub> (ke D325)
		C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0
		C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	1051,32267
		C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	1771178,863
<b>Total</b>	5334488,938	<b>Total</b>	5334488,938

## APPENDIKS C SPESIFIKASI ALAT

Kapasitas : 145000 ton/tahun  
Operasi : 330 hari/tahun, 24 jam/hari

### 1. Bin (F-111)

Fungsi : Untuk menyimpan bahan baku plastik  
Kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm  
Temperatur = 30 °C  
*Rate Mass* = 22885,08 kg/jam

#### Dasar Perancangan :

<i>Rate Mass</i>	=	22885,08	kg/jam	
<i>Bulk Density</i>	=	43	lb/cuft	(Anval PVT LTD)
	=	688,80	kg/m <sup>3</sup>	
<i>Rate Volumetrik</i>	=	<u>22885,08</u>		
		688,80		
	=	33,22	m <sup>3</sup> /jam	
Panjang	=	50	m	
Lebar	=	120	m	(Ulrich, 1984)

#### Spesifikasi :

Fungsi : Untuk menyimpan bahan baku Plastik  
Kapasitas : 22885,08 kg/jam  
*Rate Volumetrik* : 33,22 m<sup>3</sup>/jam  
Panjang : 50 m  
Lebar : 120 m  
Jumlah : 1 unit

### 2. Belt Conveyor (J-112)

Fungsi : Untuk mengangkut plastik dari bean menuju shredder  
Type : Troughed belt on 45° idlers with rolls equal length  
Kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm  
Temperatur = 30 °C  
*Rate Mass* = 22885,08 kg/jam

#### Dasar Perancangan :

<i>Rate Mass</i>	=	22885,08	kg/jam
<i>Bulk Density</i>	=	43	lb/cuft
	=	688,80	kg/m <sup>3</sup>
<i>Rate Volumetrik</i>	=	<u>22885,08</u>	kg/jam
		688,80	kg/m <sup>3</sup>

$$= 33,22 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Untuk belt conveyor kapasitas (22885,08kg/jam),  
spesifikasi 29 ton/jam (perry, 1997)

Lebar Belt	=	35	cm
<i>Cross Sectional Area of Load</i>	=	0,01	m <sup>2</sup>
Kecepatan Belt	=	30,5	m/min
<i>Belt Plies</i>	=	3 min.	; 5 max.
Ukuran Lump Maksimum	=	32	mm
Daya Angkat	=	0,34	hp / 3 m
Daya Pusat	=	0,44	hp / 30 m
Daya Tambahan untuk Tripper	=	2	hp

#### **Perhitungan :**

Untuk keamanan 20%, maka:

Kapasitas	=	1,2	x	22885,08
	=	27462,10	kg/jam	
	=	27,46	ton/jam	

Dengan kapasitas 27,46 ton/jam, maka:

Kecepatan Belt	=	(27,46/29) x 30.5
	=	28,88 m/min
Daya Angkat	=	(20/100) x (0,34hp/3,05) x 10 m
	=	0,22 hp
Daya Pusat	=	(20/100) x (0,44hp/30,48) x 10 m
	=	0,03 hp
Daya Tambahan untuk Tripper	=	2 hp
Daya Total	=	2,25 hp

Effisiensi motor 80%, maka:

<i>Power Motor</i>	=	1,80 hp	≈	2 hp
--------------------	---	---------	---	------

#### **Spesifikasi :**

Fungsi	:	Untuk mengangkut plastik dari bean menuju shredder
Type	:	<i>Troughed belt on 45° idlers with rolls equal length</i>
Ukuran Lump Max.	:	32 mm
Kapasitas	:	27,46 ton/jam
Bahan Konstruksi	:	Karet
Panjang	:	10 m
Kemiringan	:	10°
<i>Cross Sectional Area</i>	:	0,01 m <sup>2</sup>
Lebar Belt	:	35 cm
Kecepatan Belt	:	28,88 m/min



<i>Power Motor</i>	:	2	hp
Jumlah	:	1	unit

### 3. Shredder (C-120)

Fungsi	:	Untuk memotong plastik menjadi ukuran yang lebih kecil		
Kondisi Operasi	:	Tekanan	=	1 atm
		Temperatur	=	30 °C
		<i>Rate Mass</i>	=	22885,08 kg/jam
			=	6,36 kg/s
<i>Rate Mass</i>	=	22885,08	kg/jam	
<i>Bulk Density</i>	=	43	lb/cuft	
	=	160,19	kg/m <sup>3</sup>	
<i>Rate Volumetrik</i>	=	22885,08	kg/jam	
		160,19	kg/m <sup>3</sup>	
	=	142,87	m <sup>3</sup> /jam	

#### Perhitungan :

<i>Power</i> (kW)	=	100 rh (kg/s)
	=	15,73 kW
	=	21,10 hp ≈ 21 hp

#### Spesifikasi :

Fungsi	:	Untuk memotong plastik menjadi ukuran yang lebih kecil	
<i>Rate Mass</i>	:	22885,08	kg/jam
<i>Rate Volumetrik</i>	:	142,87	m <sup>3</sup> /jam
Diameter feed max.	:	0,5	m
<i>Power</i>	:	21,00	hp
Jumlah	:	1	unit

### 4. Bucket Elevator (J-114)

Fungsi	:	Untuk mengangkat plastik dari shredder ke hopper		
Type	:	<i>Bucket elevator for continuous buckets on chain</i>		
Kondisi Operasi	:	Tekanan	:	1 atm
		Temperatur	:	30,00 °C
		<i>Rate Mass</i>	:	22885,08 kg/jam

#### Dasar Perancangan :

<i>Rate Mass</i>	=	22885,08	kg/jam
<i>Bulk Density</i>	=	43	lb/cuft

$$\begin{aligned}
 &= 688,80 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Rate Volumetrik} &= \frac{22885,08 \text{ kg/jam}}{688,80 \text{ kg/m}^3} \\
 &= 33,22 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Untuk bucket elevator kapasitas 22885,05 kg/jam,  
spesifikasi 35 ton/jam (perry, 1997):

Ukuran Bucket	=	8 x 5 1/2 x 7 in
Bucket Spacing	=	8,00 in
Elevator Center	=	75,00 ft
Head Shaft	=	28 rpm
Power Head Shaft	=	5 hp
Power Tambahan	=	0,06 hp

### Perhitungan :

Asumsi waktu tinggal selama 1 jam, maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas} &= \text{Rate Massa} \times \text{Waktu Tinggal} \\
 &= 22885,08 \times 1 \\
 &= 22885,08 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Untuk keamanan 20%, maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas} &= 1,2 \times 22885,08 \\
 &= 27462,10 \text{ kg} \\
 &= 27,46 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Dengan kapasitas 27,46 ton, maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Head Shaft} &= (27,46/35) \times 20 \\
 &= 15,69 \text{ rpm} \\
 \text{Power Head Shaft} &= (27,46/35) \times 1,8 \\
 &= 1,41 \text{ rpm} \\
 \text{Power Tambahan} &= 0,06 \text{ hp} \\
 \text{Powe Total} &= 1,41 + 0,06 \\
 &= 1,47 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

Efisiensi motor 80%, maka:

$$\text{Power Motor} = 1,18 \text{ hp}$$

### Spesifikasi:

Fungsi	:	Untuk mengangkut plastik dari shredder ke tahap hopper			
Kapasitas	:	27,46	ton		
Bahan	:	Carbon Steel			
Ukuran Bucket	:	8 x 5 1/2 x 7 3/4	in		
Bucket Spacing	:	8,00	in		
Tinggi Elevator	:	75,00	ft		
Power Motor	:	1,18	hp		
Jumlah	:	0,78	unit	≈	1 unit

## 5. Hopper (F-123)

Fungsi	:	Untuk menyimpan bijih plastik sementara yang akan dimasukkan ke tangki melting
Type	:	Silinder dengan tutup atas dan tutup bawah standar dishead
Kondisi Operasi	:	Tekanan = 1 atm Suhu = 30 °C
Rate Massa	=	22885,08 kg/jam
	=	50452,45 lb/jam (1 kg = 2.2046 lb)
Bulk Density	=	43,00 lb/cuft
Rate Volumetrik	=	$\frac{\text{rate massa}}{\text{densitas}}$
	=	$\frac{50452,45}{43,00}$ lb/jam
	=	1173,31 cuft/jam

safety factor tangki : 10%

Asumsi Waktu batch	=	2 jam
Volume PE	=	90% volume tangki
Volume Larutan	=	Rate Volumetrik x waktu
	=	1173,31 x 2
	=	2346,63 cuft
Volume Tangki	=	$\frac{\text{Volume PE}}{90\%}$
	=	2607,36 cuft
	=	16765,34 bbl

### b. Menentukan diameter dan tinggi tangki

dari Appendix E (Brownell & Young), dipilih tangki dengan kapasitas 18130 bbl dengan spesifikasi sebagai berikut :

a. Diameter	=	60 ft
b. Tinggi	=	36 ft
c. Jumlah Course	=	6 buah
d. Allowable Vertical V	=	0,16 in
e. Butt-welded courses	=	72 in 6 ft

### c. Menghitung tebal dan panjang shell course

Tebal shell course dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.16 dan 3.17 (Brownell & Young)

Berdasarkan circumferential stress :

$$t = \frac{p \times d}{2 \times f \times E} + c$$

Keterangan :

t	=	thickness of shell (in)
p	=	internal pressure (psi)
d	=	inside diameter (in)
f	=	allowable stress (psi)

E = joint efficiency  
c = corrosion allowance (in)

Karena densitas dari toluene tidak melebihi densitas air pada 60°F, maka digunakan persamaan 3.17 untuk hydrostatic test

$$\begin{aligned} P_{op} &= \rho_{PE} \times \frac{H-1}{144} \\ P_{des} &= 1,2 \times P_{op} \\ &= 1,2 \times \rho_{PE} \times \frac{H-1}{144} \\ &= 1,2 \times 43 \times \frac{H-1}{144} \\ &= 0,358 (H-1) \text{ in} \end{aligned}$$

Untuk pengelasan, digunakan double welded butt joint, dengan spesifikasi :

E = 80% (Brownell & Young)

c = 0,125

sehingga t dapat dihitung ;

$$\begin{aligned} t &= \frac{P_{des} \times d}{2 \times f \times E} + c \\ t &= \frac{0,358 (H-1) \times 720}{2 \times 12650 \times 0,8} + 0,125 \\ t &= 0,012 \times (H-1) + 0,125 \end{aligned}$$

Sedangkan panjang *shell course* dihitung menggunakan persamaan :

$$L = \frac{\pi d - \text{Weld length}}{12n} \quad (\text{Brownell \& Young})$$

*Weld length* = Jumlah *course*  $\times$  *allowable welded joint*

n = Jumlah *course*

*Course 1*

$$\begin{aligned} t_1 &= 0,012 \times (H-1) + 0,125 \\ &= 0,012 \times (36-1) + 0,125 \\ &= 0,545 \text{ in} \end{aligned}$$

untuk course 1, dipilih plate dengan ketebalan

$$\begin{aligned} &= 0,545 \text{ in} \\ &= \frac{9}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

sehingga didapatkan

$$\begin{aligned}d_1 &= (12 \times D) + t_1 \\&= 720 + 0,545 \\&= 720,545 \text{ in}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_1 &= \frac{\pi \times 720,545 - (6 \times 0,16)}{72} \\&= 31,41 \text{ ft} \\&= 31 \text{ ft} \quad 4,92 \text{ in} \\&= 31 \text{ ft} \quad 4 \frac{15}{16} \text{ in}\end{aligned}$$

*Course 2*

$$\begin{aligned}H &= H - 6 \\H &= 36 - 6 \\H &= 30 \text{ ft}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_2 &= 0,012 \times (H - 1) + 0,125 \\&= 0,012 \times (30 - 1) + 0,125 \\&= 0,473 \text{ in}\end{aligned}$$

untuk course 2, dipilih plate dengan ketebalan

$$\begin{aligned}&= 0,473 \text{ in} \\&= \frac{8}{16} \text{ in} = \frac{1}{2} \text{ in}\end{aligned}$$

sehingga didapatkan

$$\begin{aligned}d_2 &= (12 \times D) + t_1 \\&= 720 + 0,473 \\&= 720,473 \text{ in}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_2 &= \frac{\pi \times 720,473 - (6 \times 0,16)}{72} \\&= 31,41 \text{ ft} \\&= 31 \text{ ft} \quad 4,92 \text{ in} \\&= 31 \text{ ft} \quad 4 \frac{15}{16} \text{ in}\end{aligned}$$

*Course 3*

$$H = H - 6$$

$$H = H_2 - 6$$

$$H = 30 - 6$$

$$H = 24 \text{ ft}$$

$$t_3 = 0,012 \times (H - 1) + 0,125$$

$$= 0,012 \times (24 - 1) + 0,125$$

$$= 0,4 \text{ in}$$

untuk course 3, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 0,4 \text{ in}$$

$$= \frac{7}{16} \text{ in} = \frac{5}{8} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$d_3 = (12 \times D) + t_1$$

$$= 720 + 0,4$$

$$= 720,4 \text{ in}$$

$$L_3 = \frac{\pi \times 720,4 - (6 \times 0,16)}{72}$$

$$= 31,40 \text{ ft}$$

$$= 31 \text{ ft} \quad 4,8 \text{ in}$$

$$= 31 \text{ ft} \quad 4 \frac{13}{16} \text{ in}$$

*Course 4*

$$H = H_3 - 6$$

$$H = 24 - 6$$

$$H = 18 \text{ ft}$$

$$t_4 = 0,012 \times (H - 1) + 0,125$$

$$= 0,012 \times (18 - 1) + 0,125$$

$$= 0,33 \text{ in}$$

untuk course 4, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 0,33 \text{ in}$$

$$\frac{6}{32}$$

$$= \frac{5}{16} \text{ in} = \frac{5}{8} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} d_4 &= (12 \times D) + t_1 \\ &= 720 + 0,33 \\ &= 720,33 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_4 &= \frac{\pi \times 720,33 - (6 \times 0,16)}{72} \\ &= 31,40 \text{ ft} \\ &= 31 \text{ ft} \quad 4,8 \text{ in} \\ &= 31 \text{ ft} \quad 4 \frac{13}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

*Course 5*

$$\begin{aligned} H &= H_4 - 6 \\ H &= 18 - 6 \\ H &= 12 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_5 &= 0,012 \times (H - 1) + 0,125 \\ &= 0,012 \times (12 - 1) + 0,125 \\ &= 0,257 \text{ in} \end{aligned}$$

untuk course 5, dipilih plate dengan ketebalan

$$\begin{aligned} &= 0,257 \text{ in} \\ &= \frac{5}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} d_5 &= (12 \times D) + t_1 \\ &= 720 + 0,257 \\ &= 720,257 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_5 &= \frac{\pi \times 720,257 - (6 \times 0,16)}{72} \\ &= 31,40 \text{ ft} \\ &= 31 \text{ ft} \quad 4,8 \text{ in} \\ &= 31 \text{ ft} \quad 4 \frac{13}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

*Couse 6*

$$H = H_5 - 6$$

$$H = 12 - 6$$

$$H = 6 \text{ ft}$$

$$t_6 = 0,012 \times (H - 1) + 0,125$$

$$= 0,012 \times (6 - 1) + 0,125$$

$$= 0,185 \text{ in}$$

untuk course 6, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 0,185 \text{ in}$$

$$= \frac{3}{16} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$d_6 = (12 \times D) + t_1$$

$$= 720 + 0,185$$

$$= 720,185 \text{ in}$$

$$L_6 = \frac{\pi \times 720,185 - (6 \times 0,16)}{72}$$

$$= 31,39 \text{ ft}$$

$$= 31 \text{ ft } 4,68 \text{ in}$$

$$= 31 \text{ ft } 4 \frac{11}{16} \text{ in}$$

d. Menghitung head tangki

Tebal cone digunakan ukuran standar, yaitu : 1 in

Menghitung  $\theta$  (sudut elemen cone terhadap horizontal)

$$\sin \theta = \frac{D}{430 \times t}$$

$$= \frac{60}{430 \times 1}$$

$$= 0,139$$

$$\theta = \text{ArcSin } 0,139$$

$$= 7,9^\circ$$

Tinggi head (H) dapat dihitung dengan persamaan :



$$\operatorname{tg} \theta = \frac{H}{1 \times D}$$

$$\begin{aligned} H &= 1 \times D \times \operatorname{tg} \theta \\ &= 1 \times 60 \times 0,14 \\ &= 1 \times 60 \times 0,14 \\ &= 8,4 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= 90 - \theta \\ &= 90 - 7,9 \\ &= 82,1^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{D}{2 \times H} \\ H &= \frac{D}{2 \times \operatorname{tg} 82,1^\circ} \\ &= \frac{60}{2 \times 7,2} \\ &= 4,2 \text{ ft} \end{aligned}$$

e. Mengitung tebal head tangki

Tekanan yang dimasukkan dalam perhitungan adalah  $P$  + safety factornya

Safety factor = 0,1

$P$  + safety factor = 16,17 psi

$$\begin{aligned} t_h &= \frac{P \times D}{2 \times \cos \theta \times ((f \times E) - 1 \times P)} + c \\ t_h &= \frac{16,17 \times 720}{2 \times 0,99 \times ((10120) - 1 \times 16,17)} + 0,125 \\ t_h &= 0,16 \text{ in} \end{aligned}$$

### **Resume Tangki Hopper**

---

Kode Alat	=	F-123
Fungsi	=	Menyimpan sementara bijih plastik sebelum masuk ke tangki melting.
Tipe Tangki	=	<i>Cylindrical - Conical Roof - Flat bottom tank</i>
Jumlah Tangki	=	1 (satu)
Bahan Konstruksi	=	<i>Carbon Steel SA-283 Grade D</i>
Kapasitas tangki	=	16765,34 bbl
Tinggi Tangki	=	36 ft
Diameter Tangk	=	60 ft
Tebal Sell per Course		

<i>Course 1</i>	=	0,545	in
<i>Course 2</i>	=	0,473	in
<i>Course 3</i>	=	0,4	in
<i>Course 4</i>	=	0,33	in
<i>Course 5</i>	=	0,257	in
<i>Course 6</i>	=	0,185	in
Tinggi Head Tangki	=	4,2	ft
Tebal Head Tangki	=	0,16	in

---

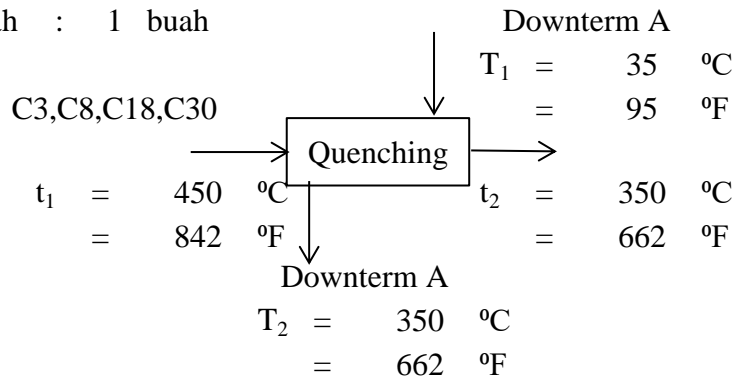
## 6. Quenching (E-222)

Fungsi : Untuk mendinginkan secara mendadak fluida hasil pirolisis dengan pendingin yang tidak mengalami kontak langsung.

Tipe : Shell and Tube Heat Exchanger

Bahan : SA 212 Grade A

Jumlah : 1 buah



Exchanger

Shell Side

Tube Side

ID = 10,02 in Number and Length = 51, 16'0"

Baffle Space = 2 in OD, BWG, pitch =  $\frac{3}{4}$  in 16 BWG, 1

in square

Passes = 1 Passes = 2

DP yang diijinka = 10 psi

Total dirt factor = 0,002 (Kern Table 12)

1) Menghitung neraca massa dan energi

Menghitung Enthalpy Feed masuk ( $H_1$ )  $T=450^{\circ}\text{C}$

Komponen	Massa (kg)	$\int C_p dT$ (kkal/kg.K)	$H=m.\int C_p dT$ (kkal)
aliran <6>			
C3H8	10984,84	250569445	2752465262213,8
C8H16	252651,32	554388300	140066935787556
C16H34	186742,28	1162968822	217175449389194
C30H62	98863,56	2493588400	246525026398704
Total	549242		606519876837668

Menghitung Enthalpy Feed keluar ( $H_2$ )  $T= 350^{\circ}\text{C}$

Komponen	Massa (kg)	$\int C_p dT$ (kkal/kg.K)	$H=m.\int C_p dT$ (kkal)
aliran <6>			
C3H8	10984,84	245377445	2695431972934
C8H16	252651,32	540834300	136642499796276
C16H34	186742,28	1136685822	212267302043954
C30H62	98863,56	2461107400	243313839106344
Total	549242		594919072919508

Menghitung Enthalpy Downterm A masuk ( $H_3$ )  $T= 35^{\circ}\text{C}$

Komponen	Massa (kg)	$\int C_{pd}T(kkal/kg.K)$	$H=m.\int C_{pd}T(kkal)$
aliran <6>			
H <sub>2</sub> O	m	0,382	m x 0,666
Total	m		m x 0,666

Menghitung Enthalpy Downterm A keluar (H<sub>4</sub>) T= 350°C

Komponen	Massa (kg)	$\int C_{pd}T(kkal/kg.K)$	$H=m.\int C_{pd}T(kkal)$
aliran <6>			
H <sub>2</sub> O	m	0,666	m x 5.003
Total	m		m x 5.003

$$Q_{in} = Q_{out}$$

$$H_1 + H_3 = H_2 + H_4$$

$$6,0652E+14 + m \times 0,666 = 5,94919E+14 + m \times 5.003$$

$$0,284 \quad m = 1,16008E+13$$

$$m = 4,08496E+13 \quad kg$$

$$H_3 = m \times \int_{298}^{302.5} C_{pd}T$$

$$= 4,08496E+13 \quad kg \times 0,382 \quad \frac{kkal}{kg}$$

$$= 1,55913E+13 \quad kkal$$

$$H_4 = m \times \int_{298}^{318} C_{pd}T \quad 318$$

$$= 4,08496E+13 \quad kg \times 0,666 \quad \frac{kkal}{kg}$$

$$= 2,71921E+13 \quad kkal$$

$Q_{in}(kkal)$		$Q_{out}(kkal)$	
H <sub>1</sub>	606519876837668,0	H <sub>2</sub>	594919072919508
H <sub>3</sub>	15591324357628,0	H <sub>4</sub>	27192128275788
Total	622111201195296,0	Total	622111201195296

2) Menghitung LMTD

Hot Fluid		Cold Fluid	Differences	
842	Higher Temp	662	180	$\Delta t_2$
662	Lower Temp	95	567	$\Delta t_1$
180	Differences	567	-387	$\Delta t_2 - \Delta t_1$

$$LMTD = \frac{T_1 - T_2}{2,3 \log \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} = \frac{t_1 - t_2}{2,3 \log \frac{180}{567}} = 337,66 \quad ^\circ F$$

$$R = \frac{180}{567} = 0,3175 \quad S = \frac{567}{842 - 95} = 0,759$$

$$F_T = 0,98$$

$$\Delta t = 0,98 \times 337,66 = 330,91 \quad ^\circ F$$

$T_c$  and  $t_c$

The average temperature  $T_a$  and  $t_a$  of 212 °F and 96.35 will be satisfactory for the short ranges and  $\phi_s$  and  $\phi_t$  taken as 1.0. Try hot fluid in shell as a trial since it is the smaller of the two

Hot Fluid: shell side, C3 C8 C16 C30	Cold Fluid: Tube side, Downterm A
$a_s = \frac{ID \times C' \times B}{144 P_T}$ $= \frac{10,02 \times 0,1875 \times 2}{144 \times 1}$ $= 0,0261 \text{ ft}^2$ $G_s = \frac{w}{a_s} = \frac{549242 \text{ kg}}{0,0261 \times 0.4536}$ $= 46403869,510 \frac{\text{lb}}{\text{hr.ft}^2}$ <p>Pada saat, <math>T_a = 212 \text{ }^\circ\text{F}</math></p> $\mu = 0,425 \times 2,42$ $= 1,0273 \frac{\text{lb}}{\text{ft.hr}}$ $D_e = \frac{0,95}{12} = 0,0792 \text{ ft}$ $Re_s = \frac{D_e G_s}{\mu}$ $= \frac{0,0792 \times 46403869,510}{1,027}$ $= 3575848,7$ $j_H = 66$ <p>Pada saat, <math>t_a = 96,35 \text{ }^\circ\text{F}</math></p> $k = 0,361 \frac{\text{Btu.ft}}{\text{hr.ft}^2.^\circ\text{F}}$ $(c.\mu/k)^{1/3} = \left( \frac{0.95.1.815}{0.361} \right)^{1/3}$ $= 1,393$ $h_o = \frac{j_H k (c.\mu/k)^{1/3}}{D_e} \times \phi_s$ $\frac{h_o}{\phi_s} = \frac{66 \times 0.361 \times 1.684}{0,0792}$ $h_o = 419,263 \text{ Btu}$	$a'_t = 0,302 \text{ in}^2$ $a_t = \frac{N_t a'_t}{144.n} = \frac{50 \times 0,302}{144 \times 2}$ $= 0,0524 \text{ ft}^2$ $G_t = \frac{w}{a_t} = \frac{4,08496E+13 \text{ kg}}{0,0524 \times 0.4536}$ $= 1,71763E+15 \frac{\text{lb}}{\text{hr.ft}^2}$ <p>Pada saat <math>t_a = 96,35^\circ\text{F}</math></p> $\mu = 0,017 \frac{\text{lb}}{\text{ft.hr}}$ $D = \frac{0,62}{12} = 0,0517 \text{ ft}$ <p>(<math>Re_t</math> hanya untuk pressure drop)</p> $Re_t = \frac{D G_t}{\mu}$ $= \frac{0,0517 \times 1,71763E+15}{0,017}$ $= 5,158E+15$ <p>From Fig.24 (tube side data)</p> $j_H = 74 \quad (L/D = 309,68)$ <p>Pada saat <math>T_a = 212^\circ\text{F}</math></p> $c = 0,4081 \frac{\text{Btu}}{\text{lb.}^\circ\text{F}}$ $k = 0,0383 \frac{\text{Btu.ft}}{\text{hr.ft}^2.^\circ\text{F}}$ $(c.\mu/k)^{1/3} = \left( \frac{0.408.0.487}{0.038} \right)^{1/3}$ $= 0,568$ $h_{io} = \frac{j_H k (c.\mu/k)^{1/3}}{D_e} \times \phi_t$

$\phi_s$ <hr/> Tube wall temperature $t_w = t_a + \frac{h_o / \phi_s \cdot (T_a - t_a)}{h_{io} / \phi_t + h_o / \phi_t}$ $= 96.35 + \frac{506.843 \cdot (212 - 96.35)}{94.911 + 506.843}$ $= 204,002 \text{ } ^\circ\text{F}$	D $h_{io} = \frac{74 \times 0,0383 \times 1.732}{0,0517}$ $h_{io} = 31,148 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$
Pada $t_w = 204,002 \text{ } ^\circ\text{F}$ $\mu = 0,726 \frac{\text{lb}}{\text{ft.hr}}$ $\phi_s = \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$ $= \left(\frac{1,027}{0.726}\right)^{0.14}$ $= 1,050$ Corrected coefficient, $h_o = \frac{h_o}{\phi_s}$ $= 419,263 \times 1,050$ $= 440,145 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$	Pada $t_w = 204,002 \text{ } ^\circ\text{F}$ $\mu = 0,539 \frac{\text{lb}}{\text{ft.hr}}$ $\phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$ $= \left(\frac{0.017}{0.539}\right)^{0.14}$ $= 0,617$ Corrected coefficient, $h_{io} = \frac{h_{io}}{\phi_t}$ $= 31,148 \times 0,617$ $= 19,230 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$

Clean overall coefficient Uc:

$$\begin{aligned}
 U_c &= \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \\
 &= \frac{19,230 \times 440,145}{19,230 + 440,145} \\
 &= 18,425 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}
 \end{aligned}$$

Design overall coefficient Ud:

$$a'' = 0,1963 \frac{\text{ft}^2}{\text{lin.ft}}$$

$$\text{Total surface, } A = 50 \times 16'0'' \times 0.1963 = 157,040 \text{ ft}^2$$

$$U_d = \frac{Q}{A \cdot \Delta\tau} = \frac{622111201195296}{51966,014} \times \frac{1}{0,252} = 4,751\text{E}+10$$

Dirt Factor Rd:

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} = \frac{18,425 - 5\text{E}+10}{18,425 \times 5\text{E}+10} = -0,0543$$

#### Summary

19,230	h outside	440,145
Uc	18,425	
Ud	4,751E+10	

Rd Calculated	-0,0543
Rd Required	0.002

### Pressure Drop

Shell Side	Tube Side
Untuk $Re_s = 14238.283$ ,	Untuk $Re_t = 22827.321$ ,
$f = 0.002 \quad ft^2/in^2$	$f = 0.00044$
No. of crosses, $N+1 = 12.L/B$	$\Delta P_t = f.G_t^2.Ln =$
$= 12 \frac{16}{2}$	$= \frac{5.22.10^{10}.D_s.\phi_s}{0.00044.215068.712^2.16.2}$
$= 96$	$= \frac{5.22.10^{10}.0.052.1.101.0.986}{1E+18 \text{ psi}}$
$D_s = \frac{10,02}{12} = 0,835 \text{ ft}$	$G_t = 1,71763E+15, V^2 = 0.0061$
$\Delta P_s = \frac{f.G_s^2.D_s.(N+1)}{5.22.10^{10}.D_e.s.\phi_s}$	$2g'$
$= \frac{0.002.326431.364^2.0.835.96}{5.22.10^{10}.0.079.1.1.137}$	$\Delta P_r = \frac{4nx V^2}{s \quad 2g'}$
$= 56497,896 \text{ psi}$	$= \frac{4x2 \times 0.0061}{1}$
Allowable $\Delta P_s = 10 \text{ psi}$	$= 0,049 \text{ psi}$
	$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r$
	$= 1E+18 + 0,049$
	$= 1E+18 \text{ psi}$
	Allowable $\Delta P_T = 10 \text{ psi}$

## 7. Reaktor Pirolisis (R-210)

Fungsi : Untuk tempat terjadi reaksi pirolisis (tanpa oksigen) untuk mengubah lelehan plastik menjadi senyawa-senyawa hidrokarbon.

Tipe : Tangki silinder tegak dengan tutup atas dished head dan tutup bawah dished dilengkapi pengaduk dan coil.

Proses : Semi kontinyu

Residence time : 1 jam

T.Operasi : 524 C

P.Operasi : 1 atm

- Menentukan bahan konstruksi

Bahan konstruksi yang dipilih adalah *Carbon Steel SA-201 grade A* dengan pertimbangan

- Suhu operasi tinggi
- Harga relatif mahal
- Maximum allowable stress : 2500 psi

- Menentukan dimensi tangki

Bahan masuk lelehan PE dengan residence time 1 jam

$$549242 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} \times \frac{1}{24} \frac{\text{hari}}{\text{jam}} = 22885,08 \text{ kg/jam}$$

- Menghitung volume awal

Menghitung densitas dengan parameter Yaws

$$\rho = A \times B^{-\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n}$$

Keterangan :

$\rho$  = densitas

T = temperatur

A, B, Tc = parameter Yaws

Komponen	A	B	Tc	n
(-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -) <sub>3125</sub>	0,21428	0,28061	282,36	0,29

$$T = 524^\circ\text{C} = 797 \text{ K}$$

Komponen	xi	$\rho$ (g/ml)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho \cdot x_i$
(-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -) <sub>3125</sub>	1	0,047	47,40	47,40
Total	1			47,40

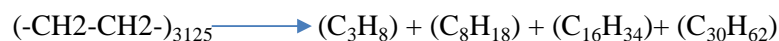
Volume awal (Vo)

$$22885,08 \text{ kg} \times 1/47,40 = 482,81 \text{ m}^3$$

$$= 17037,10 \text{ ft}^3$$

- Reaksi yang terjadi pada reactor:

Reaksi :



(Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastic. W Kaminsky.2006)

Dalam Reaktor Pirolisis:



$$\frac{\ln C_a}{\ln C_{Ao}} = (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)t$$

$$C_a = C_{Ao} \exp(-k_o.t) \longrightarrow k_o = 0,0139$$

(Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastic, W. Kaminsky 2006)

Diperoleh laju reaksi orde reaksi 0,83 = 1 adalah :

$$r = k_o.C_a$$

Dimana :

$$\begin{aligned} N_{Ao} &= \frac{\text{massa feed}}{\text{BM feed}} \\ &= \frac{22885,08}{87500} \\ &= 0,26 \quad \text{Kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{Ao} &= \frac{N_{Ao}}{V_o} \\ &= \frac{0,26}{17037,10} \\ &= 0,00002 \quad \text{mol/ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_A &= C_{Ao} \cdot \exp(-k_o.t) = 0,00002 \times e^{-0,0139} \\ &= 2,028E-05 \quad \text{mol/ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_a &= k_2.C_a = 0,0139 \times 2,02799E-05 \\ &= 2,819E-07 \end{aligned}$$

#### 1. Menghitung Volume Larutan

$$\begin{aligned} V &= 22885,08 \text{ kg} \times 1/47,40 = 482,81 \text{ m}^3 \\ &= 3036,86 \text{ bbl} \end{aligned}$$

safety factor tangki : 10%

sehingga didapatkan volume reaktor yang akan direncanakan :

$$V_{reaktor} = 3340,55 \text{ bbl}$$

#### b. Menentukan diameter dan tinggi tangki

dari Appendix E (Brownell & Young), dipilih tangki dengan kapasitas 3780 bbl dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{a. Diameter} &= 30 \text{ ft} \\ \text{b. Tinggi} &= 30 \text{ ft} \\ \text{c. Jumlah Course} &= 5 \text{ buah} \\ \text{d. Allowable Vertical Weld} &= 0,16 \text{ in} \\ \text{e. Butt-welded courses} &= 60 \text{ in} \\ &= 6 \text{ ft} \end{aligned}$$

#### c. Menghitung tebal dan panjang shell course

Tebal shell course dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.16 dan 3.17 (Brownell & Young)

Berdasarkan circumferential stress :

$$\boxed{p \times d}$$

Keterangan :

$$t = \text{thickness of shell (in)}$$

$$t = \frac{p \times d}{2 \times f \times E} + c$$

p	=	internal pressure (psi)
d	=	inside diameter (in)
f	=	allowable stress (psi)
E	=	joint efficiency
c	=	corrosion allowance (in)

Karena densitas dari PE tidak melebihi densitas air pada 60°F, maka digunakan persamaan 3.17 untuk hydrostatic test

$$\begin{aligned} P_{op} &= \rho_{PE} \times \frac{H - 1}{144} \\ P_{des} &= 1,2 \times P_{op} \\ &= 1,2 \times \rho_{PE} \times \frac{H - 1}{144} \\ &= 1,2 \times 141,1 \times \frac{H - 1}{144} \\ &= 1,18 (H - 1) \text{ in} \end{aligned}$$

Untuk pengelasan, digunakan double welded butt joint, dengan spesifikasi :

E = 80% (Brownell & Young)

c = 0,125

sehingga t dapat dihitung ;

$$\begin{aligned} t &= \frac{P_{des} \times d}{2 \times f \times E} + c \\ t &= \frac{1,18 (H - 1) \times 360}{2 \times 12650 \times 0,8} + 0,125 \\ t &= 0,021 \times (H - 1) + 0,125 \end{aligned}$$

Sedangkan panjang *shell course* dihitung menggunakan persamaan :

$$L = \frac{\pi d - \text{Weld length}}{12n} \quad (\text{Brownell \& Young})$$

$$\begin{aligned} \text{Weld length} &= \text{Jumlah course} \times \text{allowable welded joint} \\ n &= \text{Jumlah course} \end{aligned}$$

*Course 1*

$$\begin{aligned} t_1 &= 0,021 \times (H - 1) + 0,125 \\ &= 0,021 \times (30 - 1) + 0,125 \\ &= 0,734 \text{ in} \end{aligned}$$

untuk course 1, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 0,734 \text{ in}$$

$$= \frac{14}{16} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} d_1 &= (12 \times D) + t_1 \\ &= 360 + 0,734 \\ &= 360,734 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_1 &= \frac{\pi \times 360,734 - (6 \times 0,16)}{60} \\ &= 18,86 \text{ ft} \\ &= 18 \text{ ft} \quad 10,32 \text{ in} \\ &= 18 \text{ ft} \quad 10 \frac{5}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

*Course 2*

$$H = H - 6$$

$$H = 30 - 6$$

$$H = 24 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} t_2 &= 0,021 \times (H - 1) + 0,125 \\ &= 0,021 \times (24 - 1) + 0,125 \\ &= 0,608 \text{ in} \end{aligned}$$

untuk course 2, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 0,608 \text{ in}$$

$$= \frac{10}{16} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} d_2 &= (12 \times D) + t_1 \\ &= 360 + 0,608 \\ &= 360,608 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_2 &= \frac{\pi \times 360,608 - (6 \times 0,16)}{60} \\ &= 18,86 \text{ ft} \\ &= 18 \text{ ft} \quad 10,32 \text{ in} \\ &= 18 \text{ ft} \quad 10 \frac{5}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

### Course 3

$$H = H_2 - 6$$

$$H = 24 - 6$$

$$H = 18 \text{ ft}$$

$$t_3 = 0,021 \times (H - 1) + 0,125$$

$$= 0,021 \times (18 - 1) + 0,125$$

$$= 0,482 \text{ in}$$

untuk course 3, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 0,482 \text{ in}$$

$$= \frac{8}{16} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$d_3 = (12 \times D) + t_1$$

$$= 360 + 0,482$$

$$= 360,482 \text{ in}$$

$$L_3 = \frac{\pi \times 360,482 - (6 \times 0,16)}{60}$$

$$= 18,85 \text{ ft}$$

$$= 18 \text{ ft} \quad 10,2 \text{ in}$$

$$= 18 \text{ ft} \quad 10 \frac{3}{16} \text{ in}$$

### Course 4

$$H = H_3 - 6$$

$$H = 18 - 6$$

$$H = 12 \text{ ft}$$

$$t_4 = 0,021 \times (H - 1) + 0,125$$

$$= 0,021 \times (12 - 1) + 0,125$$

$$= 0,356 \text{ in}$$

untuk course 4, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 0,356 \text{ in}$$

$$= \frac{6}{16} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$d_4 = (12 \times D) + t_1$$

$$= 360 + 0,356$$

$$= 360,356 \text{ in}$$

$$= 360,356 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} L_4 &= \frac{\pi \times 360,356 - (6 \times 0,16)}{60} \\ &= 18,84 \text{ ft} \\ &= 18 \text{ ft} \quad 10,08 \text{ in} \\ &= 18 \text{ ft} \quad 10 \frac{2}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

Course 5

$$H = H_4 - 6$$

$$H = 12 - 6$$

$$H = 6 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} t_5 &= 0,021 \times (H - 1) + 0,125 \\ &= 0,021 \times (6 - 1) + 0,125 \\ &= 0,23 \text{ in} \end{aligned}$$

untuk course 5, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 0,23 \text{ in}$$

$$= \frac{4}{16} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} d_5 &= (12 \times D) + t_1 \\ &= 360 + 0,23 \\ &= 360,23 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_5 &= \frac{\pi \times 360,23 - (6 \times 0,16)}{60} \\ &= 18,84 \text{ ft} \\ &= 18 \text{ ft} \quad 10,08 \text{ in} \\ &= 18 \text{ ft} \quad 10 \frac{2}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

d. Menghitung head tangki

Tebal cone digunakan ukuran standar, yaitu : 1 in

Menghitung  $\Theta$  (sudut elemen cone terhadap horizontal)

$$\sin \theta = \frac{D}{420 \sqrt{1 + \frac{H^2}{D^2}}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{30}{430 \times 1} \\
 &= 0,07
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \theta &= \text{ArcSin } 0,07 \\
 &= 4,02^\circ
 \end{aligned}$$

Tinggi head (H) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 \text{tg } \theta &= \frac{H}{1 \times D} \\
 H &= 1 \times D \times \text{tg } \theta \\
 &= 1 \times 80 \times 0,07 \\
 &= 5,6 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 90 - \theta \\
 &= 90 - 4,2 \\
 &= 85,8^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{tg } \alpha &= \frac{D}{2 \times H} \\
 H &= \frac{D}{2 \times \text{tg } 85,8^\circ} \\
 &= \frac{30}{2 \times 13,6} \\
 &= 1,11 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

e. Mengitung tebal head tangki

Tekanan yang dimasukkan dalam perhitungan adalah P operasi + safety factornya

Safety factor = 0,1

P + safety factor = 16,17 psi

$$\begin{aligned}
 t_h &= \frac{P \times D}{2 \times \cos \theta \times ((f \times E) - 1 \times P)} + c \\
 t_h &= \frac{16,17 \times 360}{2 \times 0,99 \times ((10120) - 1 \times 16,7)} + 0,125 \\
 t_h &= 0,14 \text{ in}
 \end{aligned}$$

#### Perhitungan sistem pengaduk :

Dipakai jenis pengaduk tipe propeller dengan 4 baffles

(Geankoplis, table 3.4-1)

$$\begin{aligned}
 \frac{Da}{Dt} &= \frac{1}{3} ; \frac{W}{Da} = \frac{1}{5} ; \frac{H}{Dt} = 1 \\
 \frac{L}{Da} &= \frac{1}{4} ; \frac{C}{Dt} = \frac{1}{3} ; \frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}
 \end{aligned}$$

Dimana :

Dt	=	diameter tangki	(ft)
Da	=	diameter pengaduk	(ft)
W	=	lebar pengaduk	(ft)
H	=	tinggi larutan	(ft)
L	=	tinggi pengaduk	(ft)
C	=	tinggi pengaduk dari dasar tangki	(ft)
J	=	lebar baffle	(ft)

Maka diperoleh :

Da	=	$\frac{30,00}{3}$	=	10,00	ft
W	=	$\frac{10,00}{5}$	=	2,00	ft
H	=	Dt	=	30,00	ft
L	=	$\frac{10,00}{4}$	=	2,50	ft
C	=	$\frac{30,00}{3}$	=	10,00	ft
J	=	$\frac{30,00}{12}$	=	2,50	ft

**Kebutuhan power pengaduk :**

Diameter pengaduk	=	10,00	ft
	=	3,05	m
	=	120	in
Kecepatan putar (N)	=	60	rpm
	=	1	rps

$$\begin{aligned}
 Nre &= \frac{\rho N D a^2}{\mu} \\
 &= \frac{(47,4)(1)(3,05^2)}{0,033170215} \\
 &= 13275,78
 \end{aligned}$$

$Nre > 10.000$ , sehingga aliran termasuk jenis turbulen

Menggunakan curve 5 pada fig. 3.4-5, Geankoplis, untuk menentukan Power Pengaduk :

$$Np = 0,32$$

$$\begin{aligned}
 \text{Power Pengaduk} &= Np \times \rho \times N^3 \times Da^5 \\
 &= 3990,28 \quad \text{W} \\
 &= 3,99 \quad \text{kW} \\
 &= 5,35 \quad \text{hp}
 \end{aligned}$$

$$\text{Effisiensi motor } (\eta) = 80\% \quad (\text{Peter and Timmerhaus, fig 13.38,p-551})$$

$$\text{Power Motor} = \frac{P}{\eta} = \frac{5,35}{80\%}$$

$$= 6,69 \text{ hp}$$

$$\approx 7 \text{ hp}$$

### Menghitung Coil Pemanas :

$$Q = 79501273633 \text{ Kkal/hari}$$

$$= 3312553068 \text{ Kkal/jam}$$

$$= 13150835680 \text{ Btu/jam}$$

$$Da = 10,00 \text{ ft}$$

$$\rho = 2,95515 \text{ lbm/ft}^3$$

$$N = 60 \text{ rpm}$$

$$= 3600 \text{ rotas/jam}$$

$$k = 0,374 \text{ Btu/jam ft}^2 \times \text{F/ft}$$

$$cp = 1,8 \text{ Btu/lb F}$$

$$\mu = 31,206 \text{ lb/ft h}$$

$$(\mu/\mu_w) = 0,811 \text{ lb/ft h}$$

$$Dt = 30 \text{ ft}$$

$$\frac{hc \cdot Dt}{k} = 0,83 \times (Da^2 \cdot N \cdot \rho / \mu)^{\frac{2}{3}} \times (cp \cdot \frac{\mu}{k})^{\frac{1}{3}} \times (\mu/\mu_w)^{0,14}$$

$$\frac{hc \cdot Dt}{k} = 15632386550$$

$$hc = 194883752,3 \text{ Btu/jam ft}^2 \text{ F}$$

### Ditetapkan ukuran pipa : 3/4 in OD

$$A = 34372,9 \text{ in}^2 = 238,7 \text{ ft}^2$$

$$a'' = 0,1963 \text{ ft}^2$$

$$ID = 12 \text{ in}$$

$$OD = 0,75 \text{ in}^2 = 0,0625 \text{ ft}^2$$

$$Hio = 2579,4 \text{ Btu/jam ft}^2 \text{ F}$$

$$\text{Asumsi ditetapkan diameter lilit} = 10,9 \text{ ft}$$

$$\text{Ditetapkan Rd} = 0,086$$

$$UC = \frac{hc \times hio}{hc + hio} = \frac{194883752,3}{194883752,3 + 2579,417} \times \frac{2579,417}{2579,417}$$

$$UC = 2579,38$$

$$\frac{1}{UD} = \frac{1}{UC} + Rd$$

$$UD = 11,575$$

$$LMTD = \frac{(\Delta t_1 - \Delta t_2)}{\ln(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2})}$$

$$= 127,97 \text{ F}$$

$$A = \frac{Q}{UD \cdot LMTD} = \frac{13150835680,125}{11,575 \cdot 127,97}$$



$$UD \times \Delta t = 11,6 \times 127,97 = 8878323,58 \text{ ft}^2$$

$$\text{Panjang Lilitan Coil} = \frac{A}{a''} = 45228342,21 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Banyak lilitan} &= \frac{\text{Panjang Coil}}{\pi \times D} = 480131,0214 \\ &\approx 480131 \end{aligned}$$

## 8. Tangki Melting (R-130)

Fungsi : Untuk melelehkan PE sebelum masuk pirolisis dengan tekanan 1 atm dan temperatur 260°C.

- Menentukan tipe tangki penyimpanan

Tipe tangki yang dipilih yaitu berbentuk silinder tegak dengan dasar rata dan atap berbentuk conical dengan pertimbangan :

- Bahan setelah leleh berwujud cair
- Kondisi operasi tangki pada tekanan 1 atm dan temperatur 260°C

- Menentukan bahan konstruksi

Bahan konstruksi yang dipilih adalah *Carbon Steel SA-201 grade A* dengan pertimbangan

- Suhu operasi tinggi
- Harga relatif mahal
- Maximum *allowable stress* : 2500 psi

- Menentukan dimensi tangki

Bahan masuk PE dengan residence time 1 jam

Jumlah Base Oil yang ditampung dari hasil produksi :

$$549242 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} \times \frac{1}{24} \frac{\text{hari}}{\text{jam}} = 22885,08$$

- Menghitung volume di tangki penyimpanan

Menghitung densitas dengan parameter Yaws

$$\rho = A \times B^{-\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n}$$

Keterangan :

$\rho$  = densitas  
 $T$  = temperatur  
 $A, B, T_c$  = parameter Yaws

Komponen	A	B	Tc	n
(-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -)3125	0,21428	0,28061	282,36	0,29

$$T = 260^\circ\text{C} = 533 \text{ K}$$

Komponen	xi	$\rho$ (g/ml)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho \cdot x_i$
(-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -)3125	1	0,06	62,74	62,74
Total	1			62,74

Volume

$$22885,08 \text{ kg} \times \frac{1}{62,74} = 364,76 \text{ m}^3$$

$$62,74 \text{ kg/m}^3 = 2294,34 \text{ bbl}$$

safety factor tangki : 10%

sehingga didapatkan volume tangki yang akan direncanakan :

$$V_{\text{tangki}} = 2523,78 \text{ bbl}$$

- Menentukan diameter dan tinggi tangki

dari Appendix E (Brownell & Young), dipilih tangki dengan kapasitas 2620 bbl dengan spesifikasi sebagai berikut :

a. Diameter	=	25 ft
b. Tinggi	=	30 ft
c. Jumlah Course	=	5 buah
d. Allowable Vertical Weld	=	0,16 in
e. Butt-welded courses	=	60 in 5 ft

c. Menghitung tebal dan panjang shell course

Tebal shell course dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.16 dan 3.17 (Brownell & Young)

Berdasarkan circumferential stress :

$$t = \frac{p \times d}{2 \times f \times E} + c$$

Keterangan :

t	=	thickness of shell (in)
p	=	internal pressure (psi)
d	=	inside diameter (in)
f	=	allowable stress (psi)
E	=	joint efficiency
c	=	corrosion allowance (in)

Karena densitas dari PE tidak melebihi densitas air pada 60°F, maka digunakan persamaan 3.17 untuk hydrostatic test

$$P_{op} = \rho_{PE} \times (H - 1) / 144$$

$$P_{des} = 1,2 \times P_{op}$$

$$= 1,2 \times \rho_{(PE)} \times (H - 1) / 144$$

$$= 1,2 \times 141,1 \times (H - 1) / 144$$

$$= 1,17 (H - 1) \text{ in}$$

Untuk pengelasan, digunakan double welded butt joint, dengan spesifikasi :

E = 80% (Brownell & Young)

c = 0,125

sehingga t dapat dihitung ;

$$t = (P_{des} \times d) / (2 \times f \times E) + c$$

$$t = (1,17 (H - 1) \times 300) / (2 \times 2500 \times 0,8) + 0,125$$

$$t = 0,087 \times (H - 1) + 0,125$$

Sedangkan panjang *shell course* dihitung menggunakan persamaan :

$$L = \pi d - \text{Weld length} / 12n \quad (\text{Brownell \& Young})$$

<i>Weld length</i>	=	Jumlah <i>course</i> × allowable welded joint
n	=	Jumlah <i>course</i>

### Course 1

$$t_1 = 0,087 \times (H - 1) + 0,125$$

$$= 0,087 \times (30 - 1) + 0,125$$

$$= 2,65 \text{ in}$$

untuk course 1, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 2,65 \text{ in}$$

$$= 2 \frac{10}{16} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$d_1 = (12 \times D) + t_1$$

$$= 300 + 2,65$$

$$= 302,65 \text{ in}$$

$$L_1 = \frac{\pi \times 302,65 - (7 \times 0,16)}{60}$$

$$= 15,82 \text{ ft}$$

$$= 15 \text{ ft} \quad 9,84 \text{ in}$$

$$= 15 \text{ ft} \quad 9 \frac{14}{16} \text{ in}$$

### Course 2

$$H = H - 6$$

$$H = 30 - 6$$

$$H = 24 \text{ ft}$$

$$t_2 = 0,087 \times (H - 1) + 0,125$$

$$= 0,087 \times (24 - 1) + 0,125$$

$$= 2,126 \text{ in}$$

untuk course 2, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 2,126 \text{ in}$$

$$= 2 \frac{2}{16} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$d_2 = (12 \times D) + t_2$$

$$= 300 + 2,126$$

$$= 302,126 \text{ in}$$

$$L2 = \frac{\pi \times 302,126 - (7 \times 0,16)}{60}$$

$$= 15,79 \text{ ft}$$

$$= 15 \text{ ft} \quad 9,48 \text{ in}$$

$$= 15 \text{ ft} \quad 9 \frac{8}{16} \text{ in}$$

### Course 3

$$H = H2 - 6$$

$$H = 24 - 6$$

$$H = 18 \text{ ft}$$

$$t3 = 0,087 \times (H - 1) + 0,125$$

$$= 0,087 \times (18 - 1) + 0,125$$

$$= 1,6 \text{ in}$$

untuk course 3, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 1,6 \text{ in}$$

$$= 1 \frac{10}{16} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$d3 = (12 \times D) + t - 1$$

$$= 300 + 1,6$$

$$= 301,6 \text{ in}$$

$$L3 = \frac{\pi \times 301,6 - (7 \times 0,16)}{60}$$

$$= 15,77 \text{ ft}$$

$$= 15 \text{ ft} \quad 9,24 \text{ in}$$

$$= 15 \text{ ft} \quad 9 \frac{4}{16} \text{ in}$$

### Course 4

$$H = H3 - 6$$

$$H = 18 - 6$$

$$H = 12 \text{ ft}$$

$$t4 = 0,087 \times (H - 1) + 0,125$$

$$= 0,087 \times (12 - 1) + 0,125$$

$$= 1,08 \text{ in}$$

untuk course 4, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 1,08 \text{ in}$$

$$= 1 \frac{13}{16} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$d_4 = (12 \times D) + t_1$$

$$= 300 + 1,08$$

$$= 301,8 \text{ in}$$

$$L_4 = \frac{\pi \times 301,8 - (7 \times 0,16)}{60}$$

$$= 15,78 \text{ ft}$$

$$= 15 \text{ ft} \quad 9,36 \text{ in}$$

$$= 15 \text{ ft} \quad 9 \frac{6}{16} \text{ in}$$

Course 5

$$H = H_4 - 6$$

$$H = 12 - 6$$

$$H = 6 \text{ ft}$$

$$t_5 = 0,087 \times (H - 1) + 0,125$$

$$= 0,087 \times (6 - 1) + 0,125$$

$$= 0,56 \text{ in}$$

untuk course 5, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 0,56 \text{ in}$$

$$= \frac{9}{16} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$d_5 = (12 \times D) + t_1$$

$$= 300 + 0,56$$

$$= 300,56 \text{ in}$$

$$L_5 = \frac{\pi \times 300,56 - (7 \times 0,16)}{60}$$

$$= 15,71 \text{ ft}$$

$$= 15 \text{ ft} \quad 8,52 \text{ in}$$

$$= 15 \text{ ft} \quad 8 \frac{9}{16} \text{ in}$$

d. Menghitung head tangki

Tebal cone digunakan ukuran standar, yaitu : 1 in

Menghitung  $\theta$  (sudut elemen cone terhadap horizontal)

$$\sin \theta = \frac{D}{430 \times t}$$

$$\theta = 25 / (430 \times 1) ]$$

$$= 0,058$$

$$\theta = \text{ArcSin } 0,19$$

$$\theta = 2,325^\circ$$

Tinggi head (H) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\tan \theta = H / (1 \times D) ]$$

$$H = 1 \times D \times \tan \theta$$

$$= 1 \times 25 \times 0,041$$

$$= 1 \times 25 \times 0,041$$

$$= 1,025 \text{ ft}$$

$$\alpha = 90 - \theta$$

$$= 90 - 2,325$$

$$= 87,675^\circ$$

$$\tan \alpha = D / (2 \times H) ]$$

$$H = D / (2 \times \tan 87,675^\circ) ]$$

$$= 25 / (2 \times 24,629) ]$$

$$H = 0,51 \text{ ft}$$

e. Mengitung tebal head tangki

Tekanan yang dimasukkan dalam perhitungan adalah P operasi

Safety factor = 0,1

P + safety factor = 16,17 psi

$$t_h = \frac{P \times D}{2 \times \cos \theta \times \left( \left( \frac{f \times E}{S} \right)^{-1} \times P \right) + c}$$

$$t_h = \frac{16,17 \times 300}{2 \times 0,99 \times \left( \left( \frac{2500}{S} \right)^{-1} \times 16,7 \right) + 0,125}$$

$$t_h = 0,183 \text{ in}$$

#### Perhitungan sistem pengaduk :

Dipakai jenis pengaduk tipe propeller dengan 4 baffles

(Geankoplis, table 3.4-1)

$$\frac{Da}{Dt} = \frac{1}{3} ; \frac{W}{Da} = \frac{1}{5} ; \frac{H}{Dt} = 1$$

$$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4} ; \frac{C}{Dt} = \frac{1}{3} ; \frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$$

Dimana :

Dt	=	diameter tangki	(ft)
Da	=	diameter pengaduk	(ft)
W	=	lebar pengaduk	(ft)
H	=	tinggi larutan	(ft)
L	=	tinggi pengaduk	(ft)
C	=	tinggi pengaduk dari dasar tangki	(ft)
J	=	lebar baffle	(ft)

Maka diperoleh :

$$\begin{aligned}
 Da &= \frac{25,00}{3} = 8,33 \text{ ft} \\
 W &= \frac{8,33}{5} = 1,67 \text{ ft} \\
 H &= Dt = 25,00 \text{ ft} \\
 L &= \frac{8,33}{4} = 2,08 \text{ ft} \\
 C &= \frac{25,00}{3} = 8,33 \text{ ft} \\
 J &= \frac{25,00}{12} = 2,08 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

**Kebutuhan power pengaduk :**

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter pengaduk} &= 8,33 \text{ ft} \\
 &= 2,54 \text{ m} \\
 &= 100 \text{ in} \\
 \text{Kecepatan putar (N)} &= 60 \text{ rpm} \\
 &= 1 \text{ rps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Nre &= \frac{\rho N D a^2}{\mu} \\
 &= \frac{(62,74)(1)(2,54^2)}{170,0847619} \\
 &= 2,38
 \end{aligned}$$

$Nre > 10.000$ , sehingga aliran termasuk jenis laminar

Menggunakan curve 5 pada fig. 3.4-5, Geankoplis, untuk menentukan Power Pengaduk :

$$Np = 17$$

$$\begin{aligned}
 \text{Power Pengaduk} &= Np \times \rho \times N^3 \times Da^5 \\
 &= 112761,80 \text{ W} \\
 &= 112,76 \text{ kW} \\
 &= 151,21 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

$$\text{Effisiensi motor } (\eta) = 80\% \quad (\text{Peter and Timmerhaus, fig 13.38, p-551})$$

$$\text{Power Motor} = \frac{P}{\eta} = \frac{151,2}{80\%}$$

$$\begin{aligned}
 &= 189,02 \text{ hp} \\
 &\approx 190 \text{ hp}
 \end{aligned}$$



**Menghitung Jaket Pemanas**

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah steam (275}^{\circ}\text{C)} &= 1312,49 \text{ kg/jam} \\
 &= 2893,51 \text{ lb/jam} \\
 V_{\text{steam}} &= \frac{F_{\text{steam}}}{\rho_{\text{steam}}} = \frac{2893,51308 \text{ lb/jam}}{0,0313 \text{ lb/cuft}} \\
 &= 92444,51 \text{ cuft/jam} \\
 \text{Diameter inside jaket (D1)} &= \text{Diameter dalam} + (2 \times \text{tebal shell}) \\
 &= 27,5 \text{ ft} \\
 \text{Tinggi jaket} &= \text{Tinggi reaktor} \\
 &= 30,00 \text{ ft} \\
 \text{Asumsi jarak jaket} &= 5 \text{ in} = 0,42 \text{ ft} \\
 \text{Diameter outside jaket (D2)} &= D1 + (2 \times \text{jarak jaket}) \\
 &= 37,5 \text{ ft} \\
 \text{Luas area steam, A :}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) \\
 &= 510,25 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Kecepatan superficial steam, v :

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{V_{\text{steam}}}{A} = \frac{92444,50736}{510,25} \\
 &= 181,17 \text{ ft/jam}
 \end{aligned}$$

**Resume Tangki Melting**

Kode Alat	=	R-130
Fungsi	=	Untuk melelehkan PE sebelum masuk pirolisis
Tipe Tangki	=	Mixed Flow Reaktor
Jumlah Tangki	=	1 (satu)
Bahan Konstruksi	=	Carbon Steel SA-283 Grade C
Kapasitas tangki	=	365 m <sup>3</sup>
Tinggi Tangki	=	30 ft
Diameter Tangki	=	25 ft
Tebal Sell per Course		
Course 1	=	2,65 in
Course 2	=	2,13 in
Course 3	=	1,6 in
Course 4	=	1,08 in
Course 5	=	0,56 in
Course 6	=	0,36 in
Course 7	=	0,23 in
Tinggi Head Tangki	=	1,03 ft
Tebal Head Tangki	=	0,18 in

**Dimensi Pengaduk :**

Jenis pengaduk	:	Propeller
Diameter pengaduk	:	100 in
Kecepatan putaran	:	1 rps
Power motor	:	190 hp

**Dimensi Jaket :**

Vsteam	:	92444,51	cuft/jam
Diameter			
- Inside diameter	:	27,50	ft
- Outside diameter	:	37,50	ft
Tinggi jaket	:	30,00	ft
Luas area steam	:	510,25	ft <sup>2</sup>
Kecepatan superficial steam	:	181,17	ft/jam

## 9. Tangki Penyimpan BASE OIL (F-325)

Fungsi : Menyimpan Base Oil pada tekanan 1 atm dan temperatur 30°C

- Menentukan tipe tangki penyimpanan

Tipe tangki yang dipilih yaitu berbentuk silinder tegak dengan dasar rata dan atap berbentuk conical dengan pertimbangan :

- Bahan baku yang disimpan berwujud cair
  - Kondisi operasi tangki pada tekanan 1 atm dan temperatur 30°C
- Berdasarkan Ulrich (1986), tangki penyimpanan dengan spesifikasi seperti diatas dapat memenuhi kriteria kondisi operasi (max. 1,184 atm dan 40°C)

- Menentukan bahan konstruksi

Bahan konstruksi yang dipilih adalah *Carbon Steel SA-283 grade D* dengan pertimbangan

- Bahan baku berwujud cair non korosif
- Cocok untuk tangki dengan ketebalan < 1,25 in
- Harga relatif lebih murah
- Maximum *allowable stress* : 12650 psi

- Menentukan dimensi tangki

Produk Base Oil disimpan untuk jangka waktu 1 hari

Jumlah Base Oil yang ditampung dari hasil produksi :

$$286018 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 1 \text{ hari} = 6864438,96$$

- Menghitung volume di tangki penyimpanan

Menghitung densitas dengan parameter yaws

$$\rho = A \times B^{-\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n}$$

Keterangan :

$\rho$  = densitas

T = temperatur

A, B, Tc = parameter Yaws

Komponen	A	B	Tc	n
C16H34	0,24055	0,24958	722	0,32
C8H18	0,22807	0,25476	568,83	0,269

$$T = 30^\circ\text{C} \quad 303 \text{ K}$$

Komponen	xi	$\rho$ (g/ml)	$\rho$ (kg/m3)	$\rho \cdot xi$
C16H34	0,9999	0,25	250,39	250,36
C8H18	0,0001	0,37	372,30	0,04
Total	1			250,40

Volume toluene yang ditampung

$$6864438,96 \text{ kg} \times \frac{1}{250,40} = 27414 \text{ m}^3$$

$$\text{kg/m}^3 = 172432,20 \text{ bbl}$$

safety factor tangki : 10%

sehingga didapatkan volume tangki yang akan direncanakan :

$$V_{\text{tangki}} = 189675,42 \text{ bbl}$$

b. Menentukan diameter dan tinggi tangki

dari Appendix E (Brownell & Young), dipilih tangki dengan kapasitas 190400 bbl dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Diameter = 180 ft
- b. Tinggi = 42 ft
- c. Jumlah Course = 7 buah
- d. Allowable Vertical Weld = 0,16 in
- e. Butt-welded courses = 84 in  
7 ft

c. Menghitung tebal dan panjang shell course

Tebal shell course dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.16 dan 3.17 (Brownell & Young)

Berdasarkan circumferential stress :

$$t = \frac{p \times d}{2 \times f \times E} + c$$

Keterangan :

- t = thickness of shell (in)
- p = internal pressure (psi)
- d = inside diameter (in)
- f = allowable stress (psi)
- E = joint efficiency
- c = corrosion allowance (in)

$$P_{op} = \rho_{\text{base oil}} \times H^{-1/144}$$

$$P_{des} = 1,2 \times P_{op}$$

$$= 1,2 \times \rho(\text{base oil}) \times H^{-1/144}$$

$$= 1,2 \times 24,11 \times H^{-1/144}$$

$$= 0,2(H - 1) \text{ in}$$

Untuk pengelasan, digunakan double welded butt joint, dengan spesifikasi :

E = 80% (Brownell & Young)

c = 0,125

sehingga t dapat dihitung ;

$$t = (P_{des} \times d) / 2 \times f \times E + c$$

$$t = 0,2(H - 1) \times 2160 / 2 \times 12650 \times 0,8 + 0,125$$

$$t = 0,021 \times (H - 1) + 0,125$$

Sedangkan panjang *shell course* dihitung menggunakan persamaan :

$$L = \pi d - \text{Weld length} / 12n \quad (\text{Brownell \& Young})$$

$$\frac{\text{Weld length}}{n} = \frac{\text{Jumlah course} \times \text{allowable welded joint}}{\text{Jumlah course}}$$

#### Course 1

$$\begin{aligned} t_1 &= 0,021 \times (H - 1) + 0,125 \\ &= 0,021 \times (42 - 1) + 0,125 \\ &= 0,986 \text{ in} \end{aligned}$$

untuk course 1, dipilih plate dengan ketebalan

$$\begin{aligned} &= 0,986 \text{ in} \\ &= 16 / 16 \text{ in} = 1 \text{ in} \end{aligned}$$

sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} d_1 &= (12 \times D) + t_1 \\ &= 2160 + 0,986 \\ &= 2160,986 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_1 &= \pi \times 2160,986 - (7 \times 0,16) / 84 \\ &= 80,77 \text{ ft} \\ &= 80 \text{ ft} \quad 9,24 \text{ in} \\ &= 80 \text{ ft} \quad 9 \frac{9}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

#### Course 2

$$\begin{aligned} "H &= H - 6" \\ "H &= 42 - 6" \\ "H &= 36 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$t_2 = 0,021 " \times (H - 1) + 0,125"$$

$$\begin{aligned} " &= 0,021 " \times (36 - 1) + 0,125" \\ " &= 0,86 \text{ in} \end{aligned}$$

untuk course 2, dipilih plate dengan ketebalan

$$\begin{aligned} " &= 0,86 \text{ in} \\ " &= "14" / 16 \text{ in} = "7" / 8 \text{ in} \end{aligned}$$

sehingga didapatkan

$$d_2 = (12 \times D) + t_1$$

$$= 2160 + 0,86$$

$$= 2160,86 \text{ in}$$

$$L_2 = \frac{\pi \times 2160,86 - (7 \times 0,16)}{84}$$

$$= 80,76 \text{ ft}$$

$$= 80 \text{ ft} \quad 9,12 \text{ in}$$

$$= 80 \text{ ft} \quad 9 \frac{2}{16} \text{ in}$$

### Course 3

$$H = H_2 - 6$$

$$H = 36 - 6$$

$$H = 30 \text{ ft}$$

$$t_3 = 0,0215 (H - 1) + 0,125$$

$$= 0,021 (30 - 1) + 0,125$$

$$= 0,734 \text{ in}$$

untuk course 3, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 0,734 \text{ in}$$

$$= \frac{12}{16} \text{ in} = \frac{2}{3} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$d_3 = (12 \times D) + t_1$$

$$= 2160 + 0,734$$

$$= 2160,734 \text{ in}$$

$$L_3 = \frac{\pi \times 2160,734 - (7 \times 0,16)}{84}$$

$$= 80,76 \text{ ft}$$

$$= 80 \text{ ft} \quad 9,12 \text{ in}$$

$$= 80 \text{ ft} \quad 9 \frac{2}{16} \text{ in}$$

### Course 4

$$H = H_3 - 6$$

$$H = 30 - 6$$

$$H = 24 \text{ ft}$$

$$t_4 = 0,021 \times (H - 1) + 0,125$$

$$= 0,021 \times (24 - 1) + 0,125$$

$$= 0,608 \text{ in}$$

untuk course 4, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 0,608 \text{ in}$$

$$= \frac{10}{16} \text{ in} = \frac{5}{8} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$d_4 = (12 \times D) + t_4$$

$$= 2160 + 0,608$$

$$= 2160,608 \text{ in}$$

$$L_4 = \frac{\pi \times 2160,608 - (7 \times 0,16)}{84}$$

$$= 80,75 \text{ ft}$$

$$= 80 \text{ ft} \quad 9 \text{ in}$$

*Course 5*

$$H = H_4 - 6$$

$$H = 24 - 6$$

$$H = 18 \text{ ft}$$

$$t_5 = 0,021 \times (H - 1) + 0,125$$

$$= 0,021 \times (18 - 1) + 0,125$$

$$= 0,482 \text{ in}$$

untuk course 5, dipilih plate dengan ketebalan

$$= 0,482 \text{ in}$$

$$= \frac{8}{16} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$d_5 = (12 \times D) + t_5$$

$$= 2160 + 0,482$$

$$= 2160,482 \text{ in}$$

$$L_5 = \frac{\pi \times 2160,482 - (7 \times 0,16)}{84}$$

$$= 80,75 \text{ ft}$$

$$= 80 \text{ ft} \quad 9 \text{ in}$$

#### Course 6

$$H = H_5 - 6"$$

$$H = 18 - 6"$$

$$H = 12 \text{ ft}$$

$$t_4 = 0,021 (H - 1) + 0,125"$$

$$t = 0,021 (12 - 1) + 0,125"$$

$$t = 0,356 \text{ in}$$

untuk course 6, dipilih plate dengan ketebalan

$$t = 0,356 \text{ in}$$

$$t = \frac{6}{16} \text{ in} = \frac{1}{3} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$d_6 = (12 \times D) + t_1$$

$$d = 2160 + 0,356$$

$$d = 2160,356 \text{ in}$$

$$L_6 = \frac{\pi \times 2160,356 - (7 \times 0,16)}{84}$$

$$= 80,74 \text{ ft}$$

$$= 80 \text{ ft} \quad 8,88 \text{ in}$$

$$= 80 \text{ ft} \quad 8 \frac{14}{16} \text{ in}$$

#### Course 7

$$H = H_6 - 7"$$

$$H = 12 - 6"$$

$$H = 6 \text{ ft}$$

$$t_4 = 0,021 (H - 1) + 0,125"$$

$$t = 0,021 (6 - 1) + 0,125"$$

$$t = 0,23 \text{ in}$$

untuk course 7, dipilih plate dengan ketebalan

$$t = 0,23 \text{ in}$$

$$t = \frac{4}{16} \text{ in} = \frac{1}{4} \text{ in}$$

sehingga didapatkan

$$d_7 = (12 \times D) + t_1$$

$$d = 2160 + 0,23$$



$$= 2160,23 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} L_6 &= \pi \times 2160,23 - (7 \times 0,16) \text{ in} / 84 \\ &= 80,74 \text{ ft} \\ &= 80 \text{ ft} \quad 8,88 \text{ in} \\ &= 80 \text{ ft} \quad 8 \frac{14}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

d. Menghitung head tangki

Tebal cone digunakan ukuran standar, yaitu : 1 in

Menghitung  $\theta$  (sudut elemen cone terhadap horizontal)

$$\sin \theta = D / (430 \times t)$$

$$\sin \theta = 180 / (430 \times 1)$$

$$= 0,418$$

$$\theta = \text{ArcSin } 0,418$$

$$\theta = 24,74^\circ$$

Tinggi head (H) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\tan \theta = H / (1 \times D)$$

$$H = 1 \times D \times \tan \theta$$

$$H = 1 \times 180 \times 0,46$$

$$H = 1 \times 180 \times 0,46$$

$$H = 82,8 \text{ ft}$$

$$\alpha = 90 - \theta$$

$$= 90 - 24,74$$

$$= 62,76$$

$$\tan \alpha = D / (2 \times H)$$

$$H = D / (2 \times \tan 62,76^\circ)$$

$$= 180 / (2 \times 1,94)$$

$$= 46,4 \text{ ft}$$

e. Mengitung tebal head tangki

Tekanan yang dimasukkan dalam perhitungan adalah P operasi

Safety factor = 0,1

P + safety factor = 16,17 psi

$$t_h = P \times D / \sqrt{2 \times \cos \theta \times ( (f \times E)^{-1} \times P )} + c$$

$$t_h = \sqrt{16,17 \times 2160 / 2 \times 0,9 \times ( (10120)^{-1} \times 16,7 )} + 0,125$$

$$t_h = 2,04 \text{ in}$$

### **Resume Tangki Penyimpanan Base Oil**

Kode Alat	=	F-325
Fungsi	=	Menyimpan base oil
Tipe Tangki	=	<i>Cylindrical - Conical Roof - Flat bottom tank</i>
Jumlah Tangki	=	1 (satu)
Bahan Konstruksi	=	<i>Carbon Steel SA-283 Grade D</i>
Kapasitas tangki	=	27414 m <sup>3</sup>
Tinggi Tangki	=	42 ft
Diameter Tangki	=	180 ft
Tebal Sell per Course		
<i>Course 1</i>	=	0,986 in
<i>Course 2</i>	=	0,86 in
<i>Course 3</i>	=	0,734 in
<i>Course 4</i>	=	0,608 in
<i>Course 5</i>	=	0,482 in
<i>Course 6</i>	=	0,356 in
<i>Course 7</i>	=	0,23 in
Tinggi Head Tangki	=	46,4 ft
Tebal Head Tangki	=	2,04 in

## 10. Pompa (L-131)

Fungsi : Untuk mentransportasikan fluida dari tangki melting ke reaktor pirolisis

- Menentukan jenis pompa yang digunakan

Pompa yang dipilih yaitu pompa sentrifugal, dengan pertimbangan sebagai berikut ;

- Viskositas liquid yang relatif rendah.
- Konstruksi sederhana dan harga relatif lebih murah
- Tidak memerlukan space yang luas
- Biaya maintenance relatif lebih rendah

- Menghitung tenaga pompa yang digunakan

a. Menghitung kapasitas pompa

$$\begin{aligned} T &= 260 \text{ C} \\ &= 533 \text{ K} \end{aligned}$$

Menentukan densitas campuran komponen dengan menggunakan parameter Yaws

$\rho = A \times B^{-\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n}$	Keterangan	
	$\rho$	= densitas
	$T$	= temperature
	$A, B, T_c$	= parameter Yaws

Komponen	A	B	Tc	n
(C2H4) <sub>3125</sub>	0,21428	0,28061	282,36	0,28571

Komponen	xi	$\rho$ (gr/ml)	$\rho$ (kg/m3)	$\rho \cdot xi$
(C2H4) <sub>3125</sub>	1	196,068936	196068,9	196069

$$\begin{aligned} \text{Mass rate fluida} &= 549242 \text{ kg/jam} \\ &= 29065886,6 \text{ lb/hari} \\ \rho \text{ fluida} &= 12240,5837 \text{ lb/cuft} \end{aligned}$$

Debit fluida

$$\begin{aligned} q_f &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{29065886,6 \times 3600}{12240,5837 \times 24} = 0,027483 \text{ cuft/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Safety factor} &= 10\% \\ \text{Debit Aktual} &= 0,03 \text{ cuft/s} \\ &= 13,57 \text{ gpm} \end{aligned}$$

b. Menghitung diameter optimal pipa

Asumsi aliran turbulen > 2100

$$D_{i,opt} = 3,9 \times q_f^{0,45} \times \rho^{0,13}$$

$$= 2,745908$$

Dari Tabel 11 Appendix Process Heat Transfer (Kern, 1983)

D nominal	=	3	in
Sch no.	=	40	
OD	=	3,5	= 0,2905 ft
ID	=	3,068	= 0,254644 ft
A	=	7,38	= 0,051247 sqr.ft
<u>Surface/Lin.ft</u>			
Outside	=	0,917	ft <sup>2</sup> /ft
Inside	=	0,804	ft <sup>2</sup> /ft

c. Menghitung *friction loss*

Menghitung velocity fluida

$$v = \frac{q_f}{A} = 0,53629 \text{ fps}$$

Menghitung Reynolds Number

Menentukan viskositas campuran komponen dengan persamaan berikut dengan parameter Yaws

$$\log \mu = A + \frac{B}{T} + CT + DT^2$$

Keterangan

$\mu$  = Viskositas (cp)  
 $T$  = temperatur (K)  
 $A, B, C, D$  = parameter Yaws

Komponen	A	B	C	D
(C2H4) <sub>3125</sub>	-4,56	308,10	0,02	0,00

Komponen	xi	log $\mu$ (cP)	$\mu$ (cP)	$\mu \cdot xi$
(C2H4) <sub>3125</sub>	1,00	-2,91	3,829	3,8248

$$\mu = 3,8248 \text{ lb/ft.s}$$

$$N_{Re} = \frac{\rho \times ID \times v}{\mu} = \frac{12240,5837 \times 0,255 \times 0,53629}{3,8248} = 437,65 (\text{laminer})$$

Menghitung faktor friksi

Faktor friksi dapat dihitung menggunakan Figure 2.10-3 Geankoplis dengan menentukan terlebih dahulu nilai relative roughness ( $\epsilon/d$ )

$$\epsilon = 0,00015 \text{ (Commercial steel, m)}$$

$$\frac{\epsilon}{d} = \frac{0,00015}{0,255} = 0,00059$$

$$D = 0,255$$

Setelah mendapatkan nilai  $(\epsilon/d)$  maka dapat ditentukan nilai faktor friksi (f) dengan pertemuan antara nilai Nre dan  $(\epsilon/d)$

Didapatkan

$$f = 0,0028 \text{ dari Fig 2.10-3 Geankoplis, hal.94}$$

asumsi tidak terjadi perubahan ukuran diameter pipa sepanjang aliran dari tangki melting

b. Menghitung head loss pada fitting

Jenis Fitting	K
Elbow 90°, Regular, Flanged	0,75
Gate valve, Flanged	0,17
Check Valve, Flanged	2
Entrance	1
Exit	0,55

Sumber : Geankoplis

Menghitung velocity head

$$g_c = 32,17 \text{ ft/s}^2$$

$$v_h = v^2 / 2 g_c = 0,00447015 \text{ ft}$$

*Head loss karena fitting*

Jenis Fitting	K	Jumlah	K.vh
Elbow 90°	0,75	2	0,00894
Gate valve	0,17	1	0,00447
Check Valve	2	1	0,00447
Entrance	1	1	0,00447
Exit	0,55	1	0,00447
Total hf			0,02682 ft

Menghitung *length equivalent*

Jenis Fitting	Le/D	Jumlah	Le/D*D
Elbow 90°	35	2	17,8251
Gate valve	9	1	2,2918
Check Valve	100	1	25,4644
Total hf			45,5813 ft

Menghitung *head loss* pada pipa lurus, menggunakan persamaan Darcy-Weisbach

$$F_f = 4f (v^2 \times (\Delta L + L_e)) / (2g_c \times ID)$$

$$= 0,0112 \frac{0,28761 \times 105,581276}{64,34 \times 0,254644}$$

$$= 0,020758 \text{ ft}$$

Menghitung total *head loss*

$$\begin{aligned}\Sigma F &= F_f + h_f \\ &= 0,020758 + 0,02682091 \\ &= 0,047579\end{aligned}$$

Menghitung total *static head*

$$\begin{aligned}\Delta z &= 43 \text{ ft} \\ \frac{g}{g_c} &= \frac{1 \text{ lb}_f/\text{lb}_m}{43 \text{ ft} \cdot \text{lb}_f/\text{lb}_m} \times \\ &= \frac{1}{43} \text{ ft} \cdot \text{lb}_f/\text{lb}_m\end{aligned}$$

d. Menghitung pressure head ( $\Delta P/\rho$ )

P1 = Tekanan fluida dalam tangki melting = 1 atm

P2 = Tekanan operasi pada reaktor pirolisis = 1 atm

$$\begin{aligned}P1 &= 1 \text{ atm} \\ &= 2116,575 \text{ psf}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P2 &= 1,2 \text{ atm} \\ &= 2539,89 \text{ psf}\end{aligned}$$

$$\frac{\Delta z}{\rho} = \frac{P1 - P2}{\rho} = 0,03 \text{ ft} \cdot \text{lb}_f/\text{lb}_m$$

e. Menghitung -Ws (Geankoplis hal.64)

$$\begin{aligned}- W_s &= \Delta z \frac{g}{g_c} + \frac{\Delta v^2}{2 \alpha g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F \\ &= 43,09 \text{ ft} \cdot \text{lb}_f/\text{lb}_m\end{aligned}$$

**f. Menghitung Brake Horse Power (BHP)**

$$\begin{aligned}\text{BHP} &= q_f \times \rho \times (W_s/550) \\ &= 0,03 \times 12240 \times 0,078 \\ &= 28,99 \text{ HP}\end{aligned}$$

Dari fig 14-36, *Plant Design and Economics for Chemical Engineer* didapatkan efisiensi pompa sentrifugaal untuk kapasitas  $\pm 200$  gpm

$$\eta_{\text{Pompa}} = 0,45$$

$$\text{BHP}_{\text{Aktual}} = \frac{\text{BHP}}{\eta_{\text{Pompa}}} = \frac{28,99}{0,45} = 64,42 \text{ hp}$$

**g. Menghitung tenaga motor pompa**

Dari fig 14-36, *Plant Design and Economics for Chemical Engineer* didapatkan efisiensi motor untuk BHP = 65,48 hp

$$\eta_{\text{Motor}} = 0,9$$

$$P_{\text{motor}} = \frac{\text{BHP}_{\text{Aktual}}}{\eta_{\text{Motor}}} = \frac{64,42}{0,9} = 71,5792 \text{ hp}$$

### Resume Spesifikasi Pompa

Spesifikasi		Keterangan
Kode Alat	=	L-131
Fungsi	=	Memompa umpan dari tangki melting ke reaktor pirolisis
Tipe Pompa	=	<i>Centrifugal Pump</i>
Kapasitas Pompa	=	0,03 cuft/s
Total Head	=	43,0866 ft.lb <sub>f</sub> /lb <sub>m</sub>
Power Pompa	=	64,42 hp
Ukuran Pipa		
D Nominal	=	3 in
ID	=	3,068 in
OD	=	3,5 in
Schedule No.	=	40
Bahan	=	<i>Commercial steel</i>
Power Motor	=	71,5792 hp

### 11. Kolom Distilasi 1 (D-310)

Fungsi : Memisahkan produk ( $C_8H_{18} + C_{16}H_{34}$ ) dengan  $C_3H_8$

- Menentukan jenis kolom
- Menentukan bahan konstruksi kolom
- Menghitung jumlah plate
- Menentukan lokasi umpan
- Menentukan dimensi kolom

Neraca massa distilasi

Komponen	Feed		Distilat		Bottom	
	F	xf	D	xd	B	xb
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	10984,84	0,02	10983,74	1,00	1,10	0,00
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	252651,32	0,46	25,27	0,00	252626,05	0,47
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	286018,29	0,52	0,00	0,00	286018,29	0,53
Total	549654,45	1,00	11009,01	1,00	538645,45	1,00

- Menentukan jenis kolom  
Dalam perancangan ini dipilih jenis tray dengan pertimbangan
  - Perkiraan awal diameter kolom  $> 3$  ft
  - Fluida tidak bersifat korosif
  - Rentang batas laju alir cukup besar tanpa menimbulkan floodingJenis tray yang digunakan adalah sieve tray dengan pertimbangan
  - Kapasitas uap dan cairannya besar
  - Pressure drop yang rendah dengan efisiensi tray yang tinggi
  - Lebih ringan, low cost dan fabrikasi yang relatif mudah
  - Kestabilan yang lebih tinggi saat operasi
- Menentukan bahan konstruksi kolom  
Bahan konstruksi yang dipilih adalah Carbon Steel SA-285 Grade A, dengan pertimbangan
  - Mempunyai allowable stress yang besar sehingga untuk kapasitas yang sama hanya memerlukan bahan yang tipis
  - Harga material yang relatif murah
- Menghitung jumlah plate actual  
Perhitungan plate actual dengan menggunakan metode shortcut

Menghitung efisiensi tray kolom distilasi menggunakan O'Connell Correlation

Light key component = C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>  
Heavy key component = C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>  
Temperatur puncak kolom = 60 °C = 333 K  
Temperatur dasar kolom = 155 °C = 428 K  
Temperatur rata-rata kolom = 107,5 °C = 380,5 K  
Tekanan operasi kolom = 1 atm

Menghitung viskositas campuran umpan masuk

$$VBI = 14.534 \times \ln[\ln(v + 0.8)] + 10.975$$

$$VBI_{blend} = [w_A \times VBI_A] + [w_B \times VBI_B] + \dots + [w_X \times VBI_X]$$



$$\nu_{\text{mixture, cSt}} = \exp\left(\exp\left(\frac{\text{VBI}_{\text{mixture}} - 10.975}{14.534}\right)\right) - 0.8$$

Tabel C. Viskositas

Komponen	xi	Viskositas (cp)	VBI	VBI*xi
C3H8	0,02	0,04	-2,30	0,00
C8H18	0,46	0,24	-36,02	-16,56
C16H34	0,52	0,92	2,10	1,09
Total	1,00			-15,46

viskositas campuran = 0,38 cp

Menentukan efisiensi tray

$$E_0 = 51 - 32,5 \left[ \log(\mu_{\text{avg}} \cdot \alpha_{\text{avg}}) \right]$$

Keterangan

$\mu_{\text{avg}}$  = viskositas molar cairan umpan pada suhu rata-rata kolom distilasi

$\alpha_{\text{avg}}$  = relatif volatilitas rata-rata light key pada distilat dan bottom

$$= 29,88$$

Maka didapatkan harga  $E_0$  setelah perhitungan = 16,855

Sehingga  $E_0$  = 0,1686

Menghitung jumlah plate ideal

dari perhitungan neraca massa diperoleh nilai  $N_m$ ,  $R_m$ , dan  $R$

$$N_m = 6$$

$$R_{\text{min}} = 0,36$$

$$R = 1,5 \times R_{\text{min}}$$

$$= 1,5 \times 0,36$$

$$= 0,54$$

Menghitung stage teoritis dengan persamaan Eduljee

$$\frac{N - N_m}{N + 1} = 0,75 \left[ 1 - \left( \frac{R - R_m}{R + 1} \right)^{0,566} \right]$$

$$\frac{N - 6}{N + 1} = 0,75 \left[ 1 - \left( \frac{1,14 - 0,4}{0,54 + 1} \right)^{0,566} \right]$$

$$\frac{N - 6}{N + 1} = 0,2397$$

$$N = 8,2065$$

Menghitung jumlah plate aktual

$$N_{\text{aktual}} = \frac{N}{E_0}$$

$$= \frac{8,2065}{0,1686}$$

$$= 48,689$$

$$= 49 \text{ plate aktual}$$

d. Menentukan lokasi umpan masuk kolom distilasi

Penentuan lokasi umpan masuk kolom distilasi menggunakan persamaan Kirkbride

$$\log \frac{N_e}{N_s} = 0,206 \log \left[ \left( \frac{x_{HF}}{x_{LF}} \right) \frac{W}{D} \left( \frac{x_{LW}}{x_{HD}} \right)^2 \right]$$

Keterangan

$(X_{LK})_F$	=	0,02	$N_s$	=	Jumlah stage dibawah titik masuk feed
$(X_{HK})_F$	=	0,46	$N_e$	=	Jumlah stage diatas titik masuk feed
$(X_{LK})_B$	=	0,00	$X_{HF}$	=	Fraksi mol heavy key pada feed
$(X_{HK})_D$	=	0,00	$X_{LF}$	=	Fraksi mol light key pada feed
$W$	=	3474,6	$W$	=	Jumlah berat produk (mol) pada bottom
$D$	=	249,29	$D$	=	Jumlah berat produk (mol) pada distilat
			$X_{LB}$	=	Fraksi mol light key pada bottom
			$X_{HD}$	=	Fraksi mol heavy key pada distilat

$$\begin{aligned} \log \left[ \frac{N_e}{N_s} \right] &= 0,206 \times \log \left[ \left( \frac{X_{HF}}{X_{LF}} \right) \frac{W}{D} \left( \frac{X_{LW}}{X_{HD}} \right)^2 \right] \\ &= 0,206 \times \log \left[ \left( \frac{0,46}{0,02} \right) \frac{3474,6}{249,29} \left( \frac{0}{0} \right)^2 \right] \\ &= 0,206 \times \log 48269 \\ &= 0,9648 \end{aligned}$$

$$\frac{N_e}{N_s} = 9,2222$$

$$N_e = 9,2222 N_s$$

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan nilai  $N$  teoritis yaitu 8,207

$$\begin{aligned} N_e + N_s &= N_{\text{teoritis}} & N_e &= 7,4037 \\ N_e + N_s &= 8,2065 & &= 43,926 \text{ (Aktual)} \\ 9,2222 N_s + N_s &= 8,2065 \\ 10,222 N_s &= 8,2065 & \text{Jadi umpan masuk pada plate ke} \\ N_s &= 0,8028 & \text{44 dari atas kolom} \\ &= 4,7631 \text{ (Aktual)} \end{aligned}$$

e. Menentukan dimensi kolom

Menghitung L dan V bagian bottom

dari neraca massa didapatkan data sebagai berikut

$$\begin{aligned} L &= 538645,45 \text{ kg/jam} = 12927491 \text{ kg/hari} \\ &= 1187713,2 \text{ lb/jam} \\ V &= 14949,32 \text{ kg/jam} = 358783,68 \text{ kg/hari} \\ &= 32963,251 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

Menghitung densitas campuran liquid dan uap pada bagian bottom

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = A \times B^{-\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n}$$

komponen	A	B	T <sub>c</sub>	n
C3H8	0,22151	0,27744	486,82	0,287
C8H18	0,22807	0,25476	568,83	0,269
C16H34	0,24348	0,25442	720,6	0,324

$$T = 428 \text{ K}$$

komponen	x <sub>b</sub>	BM	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	ρ.x <sub>b</sub>	BM.x <sub>b</sub>
C3H8	0,00	44,10	1693,80	0,003	9E-05
C8H18	0,47	114,23	787,62	369,4	53,58
C16H34	0,53	226,45	399,07	211,9	120,2
Total	1,00			581,3	173,8

Menentukan densitas campuran bagian bottom

komponen	x <sub>b</sub>	T <sub>c</sub> (K)	P <sub>c</sub> (bar)	ω	x <sub>b</sub> .T <sub>c</sub>	x <sub>b</sub> .P <sub>c</sub>	x <sub>b</sub> .ω
C3H8	0,00	486,82	41,09	0,264	1E-03	8E-05	5E-07
C8H18	0,47	568,83	48,98	0,211	266,8	22,972	0,099
C16H34	0,53	720,6	38,47	0,366	382,6	20,427	0,194
Total	1,00				649,4	43,399	0,293

$$T_c = 649,42 \text{ K} \quad P_c = 43,4 \text{ bar} \quad \omega = 0,3$$

$$T_R = \frac{T}{T_c} = \frac{428,00}{649,42} = 0,66 \quad P_R = \frac{P}{P_c} = \frac{1,01}{43,4} = 0,02$$

$$\begin{aligned} B^0 &= 0,08 - \frac{0,42}{(T_R)^{1,6}} & B^1 &= 0,14 - \frac{0,17}{(T_R)^{4,2}} \\ &= 0,08 - \frac{0,42}{(0,66)^{1,6}} & &= 0,14 - \frac{0,17}{(0,66)^{4,2}} \\ &= -0,74 & &= -0,85 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{B}{R} \times \frac{P_c}{T_c} &= B^0 + \omega \times B^1 \\ &= -0,74 + 0,2933 \times -0,85 \\ &= -0,989 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= 1 + \frac{B}{R} \times \frac{P_c}{T_c} \times \frac{P_R}{T_R} \\ &= 1 + -0,989 \times \frac{0,02}{0,66} \\ &= 0,96 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V' &= \frac{Z \times R \times T}{P \times B_{mcamp}} & R &= 0,082 \text{ L.atmK}^{-1}.\text{mol}^{-1} \\ &= \frac{0,96 \times 0,082 \times 428}{1,01 \times 173,82} \\ &= 0,19 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

$$\rho_v = \frac{1}{V'} = \frac{1}{0,19} = 5,20 \text{ kg/m}^3$$

Menghitung laju alir volumetrik bagian bottom

$$L_B = \frac{L}{\rho_{\text{liquid}}} = \frac{538645,45}{581,30} = 926,62 \text{ m}^3/\text{jam} = 9,09 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$V_B = \frac{V}{\rho_{\text{vap}}} = \frac{14949,32}{5,20} = 2874,73 \text{ m}^3/\text{jam} = 28,20 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Menghitung L dan V bagian distilat

dari neraca massa didapatkan data sebagai berikut

$$\begin{aligned} L &= 10983,74 \text{ kg/jam} = 263609,8 \text{ kg/hari} \\ &= 24219,15 \text{ lb/jam} \\ V &= 3940,32 \text{ kg/jam} = 94567,621 \text{ kg/hari} \\ &= 8688,4002 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

Menghitung densitas campuran liquid dan uap pada bagian distilat

$$\rho = A \times B^{-\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n}$$

komponen	A	B	Tc	n
C3H8	0,22151	0,27744	486,82	0,287
C8H18	0,22807	0,25476	568,83	0,269
C16H34	0,24348	0,25442	720,6	0,324

$$T = 333 \text{ K}$$

komponen	xd	BM	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho \cdot x_d$	BM $\cdot x_d$
C3H8	1,00	44,10	595,16	594,63	44,06
C8H18	0,00	114,23	432,55	0,38	0,10
C16H34	0,00	226,45	280,09	0,00	0,00
Total	1,00			595,01	44,16

Menentukan densitas campuran bagian distilat

komponen	xd	Tc (K)	Pc(bar)	$\omega$	xd.Tc	xd.Pc	xd. $\omega$
C3H8	1,00	486,82	41,09	0,264	486,39	41,05	0,26
C8H18	0,00	568,83	48,98	0,211	0,50	0,04	0,00
C16H34	0,00	720,6	38,47	0,366	0,00	0,00	0,00
Total	1,00				486,89	41,10	0,26

$$T_c = 486,89 \text{ K} \quad P_c = 41,1 \text{ bar} \quad \omega = 0,26$$

$$T_R = \frac{T}{T_c} = \frac{333,00}{486,89} = 0,68 \quad P_R = \frac{P}{P_c} = \frac{1,01}{41,1} = 0,02$$

$$\begin{aligned} B^0 &= 0,08 - \frac{0,42}{(T_R)^{1,6}} & B^1 &= 0,14 - \frac{0,17}{(T_R)^{4,2}} \\ &= 0,08 - \frac{0,42}{0,42} & &= 0,14 - \frac{0,17}{0,17} \end{aligned}$$

$$= -0,69 \quad (0,68)^{1,6} \quad = -0,71 \quad (0,68)^{4,2}$$

$$\begin{aligned} \frac{B}{R} \times \frac{P_c}{T_c} &= B^0 + \omega \times B^1 \\ &= -0,69 + 0,26 \times -0,71 \\ &= -0,879 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= 1 + \frac{B}{R} \times \frac{P_c}{T_c} \times \frac{P_R}{T_R} \\ &= 1 + -0,879 \times \frac{0,02}{0,68} \\ &= 0,97 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V' &= \frac{Z \times R \times T}{P \times B_{Mcamp}} \quad R = 0,082 \text{ L.atmK}^{-1}.\text{mol}^{-1} \\ &= \frac{0,97 \times 0,082 \times 333}{1,01 \times 44,16} \\ &= 0,59 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

$$\rho_v = \frac{1}{V'} = \frac{1}{0,59} = 1,69 \text{ kg/m}^3$$

Menghitung laju alir volumetrik bagian distilat

$$L_e = \frac{L}{\rho_{liquid}} = \frac{10983,74}{595,01} = 18,46 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,18 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$V_e = \frac{L}{\rho_{vap}} = \frac{3940,32}{1,69} = 2328,40 \text{ m}^3/\text{jam} = 22,84 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Menghitung properties fluida pada bagian distilat

Menghitung surface tension pada bagian distilat

data-data yang digunakan didapatkan dari Yaws (1999)

$$\sigma = A - \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n \quad \begin{array}{l} \sigma = \text{surface tension (dynes/cm)} \\ A, T_c, n = \text{parameter Yaws} \end{array}$$

$$T = 333 \text{ K}$$

komponen	xd	A	Tc	n	σ (dynes/cm)	σ.xd
C3H8	1,00	49,624	369,82	1,192	5,83	5,83
C8H18	0,00	52,036	568,83	1,2168	24,91	0,02
C16H34	0,00	57,46	745,26	1,4092	39,00	0,00
Total	1,00					5,85

$$\text{Surface tension fluida} = 5,85 \text{ dynes/cm}$$

Menghitung viskositas fluida pada bagian distilat

$$T = 333 \text{ K}$$

komponen	xd	μ (cp)	μ.xd
C3H8	1,00	0,06	0,06
C8H18	0,00	0,34	0,00

C16H34	0,00	1,58	0,00
Total	1,00		0,07

Viskositas liquid di distilat = 4,376E-05 lb/ft.s

Menghitung viskositas uap pada bagian distilat

$$\eta = A + BT + C T^2$$

$\eta$  = viskositas ( $\mu\text{P}$ )  
 $T$  = temperatur (K)  
 $A, B, C$  = parameter Yaws

komponen	A	B	C
C3H8	-5,462	3,27E-01	-1,07E-04
C8H18	3,94	1,66E-01	1,45E-05
C16H34	-13,585	1,60E-01	-5,58E-06

$T = 333 \text{ K}$

komponen	xd	$\eta$ ( $\mu\text{P}$ )	$\eta \cdot x_d$
C3H8	1,00	103,43	103,34
C8H18	0,00	59,35	0,05
C16H34	0,00	39,70	0,00
Total			103,39

Viskositas uap distilat = 0,0103391 cP  
= 0,0000069 lb/ft.s

Menghitung liquid thermal conductivity pada bagian distilat

$$\log k = A + B \left[ 1 - \frac{T}{C} \right]^{2/7}$$

$k$  = liquid thermal conductivity (W/m.K)  
 $T$  = temperatur (K)

komponen	A	B	C
C3H8	-1,2127	0,6611	369,82
C8H18	-1,8388	1,1699	568,83
C16H34	-1,8486	1,1616	720,6

$T = 333 \text{ K}$

komponen	xd	k (W/m.K)	k.xd
C3H8	1,00	0,06	0,06
C8H18	0,00	0,02	0,00
C16H34	0,00	0,02	0,00
Total	1,00		0,06

Liquid thermal conductivity pada distila = 0,06 W/m.K

Menghitung properties fluida pada bagian bottom

Menghitung surface tension pada bagian bottom

data-data yang digunakan didapatkan dari Yaws (1999)

$$\sigma = A - \left( 1 - \frac{T}{T_c} \right)^n$$

$\sigma$  = surface tension (dynes/cm)  
 $A, T_c, n$  = parameter Yaws

$T = 428 \text{ K}$

komponen	xd	A	$T_c$	n	$\sigma$ (dynes/cm)	$\sigma \cdot x_d$
C3H8	0,00	49,624	369,82	1,192	-9,44	0,00
C8H18	0,47	52,036	568,83	1,2168	15,22	7,14
C16H34	0,53	57,46	745,26	1,4092	31,16	16,55
Total	1,00					23,69

Surface tension fluida = 23,69 dynes/cm

Menghitung viskositas fluida pada bagian bottom

T = 428 K

komponen	xd	$\mu$ (cp)	$\mu \cdot x_d$
C3H8	0,00	0,01	0,00
C8H18	0,47	0,15	0,07
C16H34	0,53	0,52	0,28
Total	1,00		0,35

Viskositas liquid di distilat = 0,000234 lb/ft.s

Menghitung viskositas uap pada bagian bottom

$$\eta'' = A + BT + C'' T''^2$$

$\eta$  = viskositas ( $\mu P$ )

T = temperatur (K)

A,B,C = parameter Yaws

komponen	A	B	C
C3H8	-5,462	3,27E-01	-1,07E-04
C8H18	3,94	1,66E-01	1,45E-05
C16H34	-13,585	1,60E-01	-5,58E-06

T = 428 K

komponen	xd	$\eta$ ( $\mu P$ )	$\eta \cdot x_d$
C3H8	0,00	134,50	0,00
C8H18	0,47	75,16	35,25
C16H34	0,53	54,90	29,15
Total			64,40

Viskositas uap bottom = 0,0064399 cP  
= 0,0000043 lb/ft.s

Menghitung liquid thermal conductivity pada bagian bottom

$$\log k = A + B \left[ 1 - \frac{T}{C} \right]^{2/7} \quad \begin{array}{l} k = \text{liquid thermal conductivity (W/m.K)} \\ T = \text{temperatur (K)} \end{array}$$

T = 428 K

komponen	xd	k (W/m.K)	k.xd
C3H8	0,00	0,06	0,00
C8H18	0,47	0,02	0,01
C16H34	0,53	0,02	0,01
Total	1,00		0,02

Liquid thermal conductivity pada distila = 0,02 W/m.K

Data	Top Tray	Bottom Tray
Tekanan (bar)	1,01	1,01
Temperatur (K)	372,05	428
$\sigma$ (dyne/cm)	5,85	23,69
$\rho_v$ (lb/ft <sup>3</sup> )	0,11	0,32

$\rho_L$ (lb/ft <sup>3</sup> )	37,15	36,29
<i>Internal reflux</i> L/V	2,79	36,03
<i>Max vapor</i> (lb/jam)	8688,40	32963,25
<i>Max liquid</i> (lb/jam)	24219,15	1187713,22
<i>Max Q<sub>V</sub></i> (ft <sup>3</sup> /s)	22,84	28,20
<i>Max Q<sub>L</sub></i> (ft <sup>3</sup> /s)	0,18	9,09
<i>Max Q<sub>L</sub></i> (gpm)	81,27	4079,69
<i>Plate spacing</i> (in)	24	24

Langkah langkah perhitungan di bawah ini menggunakan referensi dari Van Winkle

a. Diameter kolom

Perhitungan diameter kolom menggunakan asumsi sebagai berikut

- tanpa menggunakan *splash baffle*
- *flooding* 0,8

<b>TOP</b>		<b>BOTTOM</b>
<p><u>Flow parameter</u></p> $P_F = \frac{L}{V} \left[ \frac{\rho_v}{\rho_L} \right]^{0,5}$ $= 0,15$		$P_F = \frac{L}{V} \left[ \frac{\rho_v}{\rho_L} \right]^{0,5}$ $= 0,32$
dari Fig 13.21, Van Winkle didapatkan <i>Capacity factor</i>		
<p><u>Capacity parameter</u></p> $P_C = 0,3$ <p>Koreksi nilai <math>P_C</math> sebagai fungsi dari <math>\sigma</math></p> $P_{C \text{ Corr}} = P_C \times \left[ \frac{\sigma}{20} \right]^{0,2}$ $= 0,3 \times \left[ \frac{5,85}{20} \right]^{0,2}$ $= 0,23$		$P_C = 0,24$ $P_{C \text{ Corr}} = \times \left[ \frac{\sigma}{20} \right]^{0,2}$ $= 0,24 \times \left[ \frac{23,69}{20} \right]^{0,2}$ $= 0,25$

Menghitung *vapor velocity* untuk *flooding* 100%

$$U_{VN} = P_C \times \left( \frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v} \right)^{0,5}$$

$U_{VN} = 0,23 \times \frac{37,15 - 0,11}{0,11}^{0,5}$ $= 4,3927 \text{ fps}$		$U_{VN} = 0,25 \times \frac{36,29 - 0,32}{0,32}^{0,5}$ $= 2,613 \text{ fps}$
---	--	--

Menghitung *net vapor flow area* antara plate

Asumsi *flooding* = 0,8

$$A_N = \left( \frac{Q_v}{U_{VN} \times (\% \text{ Flooding})} \right)$$

$A_N = \underline{\hspace{2cm} 22,84 \hspace{2cm} }$		$A_N = \underline{\hspace{2cm} 28,20 \hspace{2cm} }$
--	--	--



$$= \frac{4,3927 \times 0,8}{6,50} \text{ ft}^2$$

Asumsi

$$\begin{aligned} \text{Ad} &= 0,1 \text{ A} \\ \text{A} &= \text{A}_N + \text{Ad} \\ \text{A} &= 6,50 + 0,1 \text{ A} \\ 0,9 \text{ A} &= 6,50 \\ \text{A} &= 7,22 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$= \frac{2,613 \times 0,8}{13,49} \text{ ft}^2$$

Asumsi

$$\begin{aligned} \text{Ad} &= 0,1 \text{ A} \\ \text{A} &= \text{A}_N + \text{Ad} \\ \text{A} &= 13,49 + 0,1 \text{ A} \\ 0,9 \text{ A} &= 13,49 \\ \text{A} &= 14,99 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Didapatkan diameter kolom,

$$\begin{aligned} D &= \frac{7,22^{0,5}}{[0,79]} \\ &= 3,02 \text{ ft} \\ &= 0,92 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{14,99^{0,5}}{[0,79]} \\ &= 4,36 \text{ ft} \\ &= 1,33 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diameter kolom, dipilih diameter 5 ft

$$\begin{aligned} \text{maka } \text{A} &= 19,65 \text{ ft}^2 \\ \text{A}_N &= 17,685 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Cek percent flood

$$\begin{aligned} \text{Percent flood} &= \frac{22,84}{4,39 \times 17,69} \\ &= 0,29 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percent flood} &= \frac{28,20}{2,61 \times 17,69} \\ &= 0,61 \end{aligned}$$

Menghitung A dengan percent flood = 0,61

$$\begin{aligned} \text{A}_N &= \frac{28,20}{2,61 \times 0,61} \\ &= 17,69 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

*Area of column*

$$\begin{aligned} \text{A} &= \frac{\text{A}_N}{0,9} \\ &= \frac{17,69}{0,9} \\ &= 19,65 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

*Area of downcomer*

$$\begin{aligned} \text{Ad} &= 0,1 \text{ A} \\ &= 0,1 \times 19,65 \\ &= 1,965 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

*Active area for bubbling*

$$\begin{aligned} \text{A}_A &= \text{A} - \text{Ad} \\ &= 19,65 - 1,965 \\ &= 17,69 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

*Plate thickness*

$$\begin{aligned}tp &= 12 \text{ gauge} \\ &= 0,08 \text{ in}\end{aligned}$$

*Hole diameter*

$$dh = 0,25 \text{ in}$$

Digunakan *triangular pitch, equilateral* 60°      P = 0,25 in

$$\begin{aligned}P &= 0,25 \times 3 \\ &= 0,75 \text{ in.pitch}\end{aligned}$$

Berdasarkan literatur (Van Winkle, 1967), ketinggian weir maksimal 15% dari tray spacing. Sehingga diambil ketinggian weir sebagai berikut

$$\begin{aligned}hw &= 1,5 \text{ in} \\ \frac{Ad}{A} &= \frac{1,965}{19,65} = 0,1\end{aligned}$$

Dari Tabel 14.10 Van Winkle didapatkan data-data sebagai berikut

$$\text{Untuk } \frac{Ad}{A} = 0,1 \qquad \frac{L}{D} = 0,73 \qquad \frac{H}{D} = 0,16$$

Sehingga panjang weir ( $l_w$ ) dapat dihitung

$$\begin{aligned}\frac{L}{D} &= 0,73 \\ l_w &= 0,73 \times 5 \\ &= 3,63 \text{ ft} \\ &= 43,602 \text{ in}\end{aligned}$$

*Entrainment*

*Entrainment* didapatkan dari Fig 13.26 (Van Winkle, 1967), sebagai

$$\begin{array}{l|l}P_F = 0,15 & P_F = 0,32 \\ \Psi = 0,018 & \Psi = 0,008\end{array}$$

Nilai *entrainment* yang didapatkan adalah 0,1 sehingga memenuhi syarat perancangan

*Pressure drop*

$$\begin{array}{l|l}\frac{Q_L}{l_w^{2,5}} = \frac{81,27}{25,17} \frac{\text{gpm}}{\text{ft}} & \frac{Q_L}{l_w^{2,5}} = \frac{4079,7}{25,17} \frac{\text{gpm}}{\text{ft}} \\ = 0,03 & = 1,28\end{array}$$

Dari Fig 13.7 untuk  $\frac{l_w}{D} = 0,73$  didapatkan nilai  $F_w$

$$F_w = 1,015 \qquad F_w = 1,018$$

Sehingga  $h_{ow}$  dapat dihitung

$$h_{ow} = 0,48 \times F_w \left( \frac{Q_L}{l_w} \right)^{0,67}$$

$h_{ow}$  = Liquid crest over weir, in

$$h_{ow} = 0,04 \text{ in}$$

$$h_{ow} = 0,58 \text{ in}$$

Sehingga dipilih  $h_w = 1 \text{ in}$

Menghitung *equivalent surface tension loss*

$$h_{\sigma} = \frac{0.04 \times \sigma}{\rho_l \times d_h}$$

$$h_{\sigma} = 0,03 \text{ in}$$

$$h_{\sigma} = 0,01 \text{ in}$$

Menghitung *equivalent surface tension loss*

$$h_0 = 0.186 \frac{\rho_v}{\rho_l} \left( \frac{U_h}{C_0} \right)^2$$

tebal plate (tp) = 0,08 in

hole diameter = 0,25 in

sehingga

$$\frac{t_p}{d_h} = 0,33$$

diambil nilai  $A_h/A = 0,1 \text{ in}$

dari Fig 13.18 didapatkan  $C_0 = 0,73$

$$\begin{aligned} A_h &= 0,1 \times A_A \\ &= 0,1 \times 17,69 \\ &= 1,769 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Menghitung kecepatan uap yang melewati lubang

$$\begin{aligned} U_h &= \frac{Q_v}{A_h} = \frac{22,84}{1,7685} \\ &= 12,915 \text{ ft/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_h &= \frac{Q_v}{A_h} = \frac{28,20}{1,769} \\ &= 15,95 \text{ ft/s} \end{aligned}$$

dari data-data diatas,  $h_0$  dapat dihitung

$$\begin{aligned} h_0 &= 0,186 \frac{0,11}{37,15} \left[ \frac{12,92}{0,73} \right]^2 \\ &= 0,17 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_0 &= 0,186 \frac{0,32}{36,29} \left[ \frac{15,9}{0,73} \right]^2 \\ &= 0,79 \text{ in} \end{aligned}$$

$$U_{VA} = U_h \times \frac{A_h}{A}$$

$$\begin{aligned} U_{VA} &= 12,92 \times 0,1 \\ &= 1,29 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{VA} &= 15,95 \times 0,1 \\ &= 1,59 \text{ in} \end{aligned}$$

$$F_{VA} = U_{VA} \times (\rho_v)^{0,5}$$

$$\begin{aligned} F_{VA} &= 1,29 \times 0,11^{0,5} \\ &= 0,42 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{VA} &= 1,59 \times 0,32^{0,5} \\ &= 0,91 \end{aligned}$$

dari Fig 13.16 didapatkan

$$\beta = 0,6$$

$$\beta = 0,58$$

Menghitung total pressure drop

$$\Delta H_T = \beta(h_w + h_{ow}) + h_0 + h_\sigma$$

$$\Delta H_T = 0,82 \text{ in}$$

$$\Delta H_T = 1,71 \text{ in}$$

Weep point

$$h_w + h_{ow} = 1,04$$

$$h_w + h_{ow} = 1,58$$

dari Fig 13.22 didapatkan

$$h_0 + h_\sigma = 0,38$$

$$h_0 + h_\sigma = 0,49$$

dibandingkan dengan hasil perhitungan sebelumnya

$$h_0 + h_\sigma = 0,19$$

$$h_0 + h_\sigma = 0,80$$

nilai yang didapatkan dari hasil perhitungan lebih besar daripada nilai yang didapat dari Fig 13.22, maka kedua bagian akan beroperasi dengan baik diatas weep point

Menghitung liquid back-up di downcomer

$$H_D = [\Delta H_T + (h_w + h_{ow} + \Delta) + h_d] \frac{1}{\phi_d}$$

$$\text{asumsi jarak di bawah apron} = 1,5 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} A_{AP} &= \frac{2 \times l_w}{144} \\ &= 0,6056 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

menghitung head loss pada downcomer

$$h_d = 0,03 \left( \frac{Q_l}{100A_d} \right)^2$$

$$h_d = 0,0051 \text{ in}$$

$$h_d = 12,93 \text{ in}$$

sehingga  $H_D$  dapat dihitung

$$H_D = 1,446 \text{ in}$$

$$H_D = 15,56 \text{ in}$$

$$\text{asumsi froth density (density foam} = 0,5 \text{ )}$$

meghitung foam back-up di downcomer

$$H_{Dal} = 2,8921 \text{ in}$$

$$H_{Dal} = 31,123 \text{ in}$$

menghitung liquid gradient

average width of flow path

$$W_a = \frac{D + l_w}{2}$$

$$W_a = 4,3168 \text{ ft}$$

$$\frac{w}{L}$$

Menghitung *foam height*

$$h_f = \frac{\beta(h_w + h_{ow})}{2\beta - 1}$$

$$\begin{aligned} hf &= \frac{0,6 \times 1,04}{2 \times 0,6 - 1} \\ &= 3,1254 \text{ in} \\ &= 0,2604 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} hf &= \frac{0,58 \times 1,58}{2 \times 0,58 - 1} \\ &= 5,719 \text{ in} \\ &= 0,477 \text{ ft} \end{aligned}$$

Menghitung *hydraulic radius*

$$R_h = \frac{h_f \times W_a}{2h_f + W_a}$$

$$Rh = 0,2324 \text{ ft}$$

$$Rh = 0,39 \text{ ft}$$

Menghitung *foam velocity*

$$u_f = \frac{12 \times Q'_L}{h_c \times W_a}$$

$$\begin{aligned} Uf &= \frac{12 \times 0,18}{0,6 \times 1,04 \times 4,3168} \\ &= 0,8053 \text{ fps} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Uf &= \frac{12 \times 9,09}{0,58 \times 1,58 \times 4,32} \\ &= 27,61 \text{ fps} \end{aligned}$$

Menghitung *Reynold Number*

$$Re_f = \frac{u_f \times R_h \times \rho_L}{\mu_L}$$

$$\begin{aligned} Ref &= \frac{0,8053 \times 0,2324 \times 37,15}{0,000234} \\ &= 29668,766 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ref &= \frac{27,612 \times 0,39 \times 36,29}{0,000044} \\ &= 8940317 \end{aligned}$$

dari Fig 13.19 didapatkan *friction factor (f)*

$$f = 0,09$$

$$f = 0,05$$

dari data-data tersebut, liquid gradient dapat dihitung

$$\Delta = \frac{f \times U_f^2 \times Z_l}{12 \times g \times R_h}$$

$$\Delta = 0,0283398 \text{ in}$$

$$\Delta = 11,01852 \text{ in}$$

*Liquid residence time* pada downcomer

$$Ad = 1,965 \text{ ft}^2$$

$$H_D = 1,446 \text{ in}$$

$$H_D = 15,561 \text{ in}$$

$$QLD = 0,18 \text{ cuft/s}$$

$$QLD = 9,09 \text{ cuft/s}$$

$$Residence\ Time = \frac{A_d \times \left(\frac{H_d}{12}\right)}{Q'_L}$$

$$Residence\ time = 1,3077 \text{ sec}$$

$$Residence\ time = 0,28 \text{ sec}$$

Menentukan diameter dan tinggi tangki

- Bahan Konstruksi = SA 285 grade A
- Allowable Vertical Welded Joint* = 0,156 in
- Butt-welded courses* = 96 in = 8 ft
- Allowable stress* = 11250
- Efisiensi pengelasan = 1

Menghitung ketebalan shell

$$t = \frac{P_{des} \times r_i}{f \times E - 0,6 P_{des}} + c$$

$$\text{Tekanan operasi } 1 \text{ atm} = 14,7 \text{ psi}$$

Tekanan design diambil 10% lebih besar dari tekanan operasi untuk faktor keamanan

$$P_{des} = 110\% \times 14,7 = 16,17 \text{ psi}$$

Untuk pengelasan, digunakan double welded butt joint, dengan spesifikasi

$$E = 80\%$$

$$c = 0,125$$

sehingga t dapat dihitung

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{P_{des} \times r_i}{f \times E - 0,6 P_{des}} + c \\ &= \frac{16,17 \times 30}{11250 \times 0,8 - 0,6 \times 16,17} + 0,125 \\ &= 0,18 \text{ in} \quad \text{digunakan } t \text{ standar } \frac{3}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung spesifikasi *head*

Tekanan yang dimasukkan di perhitungan adalah tekanan operasi + safety factornya\

$$\text{Safety factor} = 10\%$$

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$P_{des} = 16,17 \text{ psi}$$

$$\text{Tipe head} = \textit{Torispherical dished head}$$

$$\begin{aligned} (OD)_s &= (ID)_s + 2t_s \\ &= 60 + 0,36 \\ &= 60,36 \text{ in} \end{aligned}$$

dari tabel 5.7 Brownell & Young hal 90, diperoleh

harga :

$$r_c = 60$$

$$i_{cr} = 3,6$$

Berdasarkan persamaan 7.76, Brownell & Young hal 138

$$W = \frac{1}{4} \left( 3 + \left( \frac{rc}{icr} \right)^{0.5} \right)$$

Diketahui W adalah faktor intensifikasi stress

$$W = 1,77$$

Perhitungan tebal head menggunakan persamaan 7.77 Hal 138

$$t_h = \frac{P r_c \times W}{2f \times E - 0,2 P} + c$$

$t_h = \text{thickness of head}$   
 $P = \text{internal pressure}$   
 $f = \text{allowable stress}$   
 $E = \text{joint efficiency}$   
 $rc = \text{inside spherical}$

$$t_h = 0,20 \text{ in}$$

$$= 1/5 \text{ in (digunakan t standar 3/16 in)}$$

Menghitung tinggi head

$$ID = 60 \text{ in}$$

$$OD = 60,36 \text{ in}$$

Berdasarkan Brownell & Young hal 87 diperoleh harga :

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ in}$$

$$BC = rc - icr = 60 - 3,6 = 56,38 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = 30 - 3,6 = 26,38 \text{ in}$$

$$AC = (BC^2 - AB^2)^{0.5} = 49,82 \text{ in}$$

$$b = rc - AC = 10,18 \text{ in}$$

dari Tabel 5-6 Brownell & Young hal 88, untuk tebal head dipilih 3/16 in diperoleh harga sf = 1,5-2. Dipilih sf sebesar 2

maka ;

$$Hh = t_h + b + sf$$

$$= 0,2 + 10,18 + 2$$

$$= 12,36 \text{ in}$$

$$= 1,0302 \text{ ft}$$

Tinggi kolom

$$T = \text{tinggi tray} + 2t_h$$

$$= \text{tray spacing} \times N \text{ actual tray} + 2t_h$$

$$= 24 \times 49 + 24,73$$

$$= 1200,73 \text{ in}$$

$$= 100,06 \text{ ft}$$

**Resume spesifikasi Kolom Distilasi I**

Spesifikasi		Keterangan	
Kode Alat	=	D-310	
Fungsi	=	Memisahkan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> dari campuran (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> +C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> )	
Jenis kolom	=	<i>Tray distillation column</i>	
Jenis tray	=	<i>Perforated (sieve tray)</i>	
Jumlah Tray	=	49	Tray
Diameter kolom	=	5	ft
<i>Tray spacing</i>	=	2	ft
<i>Active area</i>	=	17,69	sq.ft
<i>Area of holes</i>	=	1,77	sq.ft
<i>Area of downcomer</i>	=	1,97	sq.ft
$A_h/A$	=	0,09	
$A_d/A$	=	0,1	
$A_h/A_A$	=	0,1	
$d_h$	=	0,25	in
$l_w$	=	43,60	in
$h_w$	=	1,5	in
<i>Design Vessel</i>			
Tipe vessel	=	<i>Tall vertical vessel</i>	
Bahan konstruksi	=	<i>Carbon steel SA 283 Grade A</i>	
Tebal <i>shell</i>	=	0,18	in
Tinggi vessel	=	100	ft
Tipe head	=	<i>Torispherical Dished head</i>	
Tebal head	=	0,19	in
Tinggi head	=	12,36	in



## 12. Kompresor (G-313)

Fungsi : Untuk mengkompresi gas (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) sebelum dialirkan menuju furnace.

Kondisi Operasi :

Suhu : 60°C

Tekanan : 2,1 kg/cm<sup>2</sup>G = 29 psia

Yang akan dihitung :

Tekanan tiap stage untuk mengetahui *power compressor*

Komposisi gas masuk:

Komponen	Berat (kg)	BM	Kmol
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	11009,01	44	250,2
Total	11009,01	44	250,2

Perhitungan compressor menggunakan cara Ludwig, Bab 12 sebagai berikut:

T = 60°C

P<sub>1</sub> = 2,1 kg/cm<sup>2</sup> = 2 atm = 29,8690 psia

P<sub>2</sub> = 9,3 kg/cm<sup>2</sup> = 9 atm = 132,277 psia

BM = 274,577 lb/lbmol

$$m = \frac{11009,01 \frac{kg}{jam} \times 24 \frac{jam}{hari} \times 2,2046 \frac{lb}{kg} \times 359 \frac{ft^3}{lbmol}}{274,577 \frac{lb}{lbmol}}$$
$$= 761587,14 \text{ ft}^3/\text{hari (SCFD)}$$

Rasio kompresi = 2 stage

R<sub>c</sub> = 2,104

- **Stage ke-1**

P<sub>1</sub> = 29,8690 psia

P<sub>i1</sub> = 2,104 x 29,8690 = 62,856884 psia

T<sub>i1</sub> = 600 x 2,104<sup>(1,15-1)/1,15</sup> = 661,148291 °R = 201,1483 °F

- **Stage ke-2**

P<sub>1</sub> = 132,277 psia

P<sub>i1</sub> = 2,104 x 132,277 = 278,366201 psia

T<sub>i1</sub> = 661,148291 x 2,104<sup>(1,15-1)/1,15</sup> = 728,51 °R = 266,5284 °F

- **Horse Power**

BhP/MMCFD = 45 (Gb.12-19. Hal 423 untuk R<sub>c</sub>=3,8 dan k=1,15)

Efisiensi mekanik (μ) = 95%

$$BHP = \frac{45 \times \frac{14,7}{14,4} \times (460 + 201,1483) \times 761587,14}{(460 + 60) \times 10^6} = 44,48 \text{ hp}$$

$$BHP = \frac{45 \times \frac{14,7}{14,4} \times (460 + 266,5284) \times 761587,14}{(460 + 60) \times 10^6} = 48,88 \text{ hp}$$

Hp total = 93,36 hp

- **Compressor Cylinder Volume**

Asumsi 5% cylinder cleared

Ev = 93,5% (Ludwig, Gb 12-18C, hal 416 untuk Rc=2,1 dan %CC = 5%)

$$\text{BhP1} \quad \text{PD} \times \text{Ev} = \frac{10^4 \times \text{BhP}}{\frac{\text{BhP}}{\text{MMCFD}} \times (P1 - 0,5)} = \frac{10^4 \times 44,48}{45 \times (29,8690 - 0,5)}$$

$$\text{PD} = 359,95 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$\text{BhP2} \quad \text{PD} \times \text{Ev} = \frac{10^4 \times \text{BhP}}{\frac{\text{BhP}}{\text{MMCFD}} \times (P1 - 0,5)} = \frac{10^4 \times 48,88}{45 \times (132,277 - 0,5)}$$

$$\text{PD} = 88,16 \text{ ft}^3/\text{min}$$

#### 14. Reaktor Hidrocracking (R-230)

Fungsi	:	Tempat melangsungkan reaksi antara residu dengan hidrogen.
Jenis	:	Reaktor Hidrocracking single stage
Bahan konstruksi	:	Stainless Steel SA-240, Grade A
Jumlah	:	1 unit
Kondisi operasi	:	
Tekanan	=	13,4 M Pa
Temperatur	=	270 °C
Laju alir massa	=	549665,36 kg/jam
Densitas	=	2373,472 kg/m <sup>3</sup> = 148,17 lb/ft <sup>3</sup>
Kelonggaran	=	20 %
Waktu tinggal (τ)	=	1,5 jam

##### 1. Volume Reaktor

- Volume larutan

$$V_1 = \frac{549665,3600 \text{ kg/jam} \times 2 \text{ jam}}{2373,472 \text{ kg/m}^3}$$
$$= 347,381 \text{ m}^3$$

- Volume tangki reaktor

$$V_1 = 1,2 \times 347,3805173$$
$$= 416,857 \text{ m}^3$$

Perbandingan tinggi dengan diameter tangki (D : H<sub>s</sub>) = 4 : 5

Volume silinder tangki (V<sub>s</sub>)

$$V_s = \frac{\pi}{4} D_i^2 H_s = \frac{\pi}{4} D_i^2 \frac{5}{4} D = \frac{5}{16} \pi D_i^3$$

$$\text{Tinggi head (H}_h\text{)} = \frac{1}{6} D$$

Volume alas tutup tangki (V<sub>h</sub>)

$$V_s = \frac{\pi}{4} D_i^2 H_h (2) = \frac{\pi}{4} D_i^2 \left( \frac{1}{6} D_i \right) (2)$$
$$= \frac{\pi}{24} D_i^3$$

$$\text{Volume tangki} = V_s + V_h$$

$$416,86 = \frac{5\pi}{16} D_i^3 + \frac{\pi}{24} D_i^3$$

$$416,86 = \frac{17}{48} \pi D_i^3$$

$$D_i = 7,21 \text{ m} = 283,87 \text{ in} = 236,55 \text{ ft}$$

$$H_s = \frac{5}{4} D_i$$

$$= \frac{5}{4} 7,21$$

$$= 1,80256 \text{ m}$$

$$= 70,9668 \text{ in}$$

$$H_h = \frac{1}{6} D_i$$

$$= \frac{1}{6} 7,21$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,20171 \text{ m} \\
 &= 47,3112 \text{ in} \\
 H_{\text{total}} &= \frac{H_s}{4} + 2 H_h \\
 &= 4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

## 2. Tebal Shell

$$\begin{aligned}
 \text{Joint efficiency (E)} &= 0,85 \\
 \text{Allowable stress (S)} &= 16000 \text{ psia} \\
 \text{Diameter (ID)} &= 7,21 \text{ m} = 283,87 \text{ in} \\
 \text{Jari-jari} &= 141,93 \text{ in} \\
 \text{Tinggi cairan (H}_s\text{)} &= 1,80 \text{ m} \\
 \text{Tekanan larutan (Ph)} &= H_s \times 9,8 \text{ kg/m}^2 \times \rho \\
 &= 41927,60 \text{ Pa} \\
 &= 6,081 \text{ psia} \\
 \text{Tekanan operasi (Pop)} &= 6,081 \text{ psia} + 14,7 \text{ psia} \\
 &= ##### \text{ psia} \\
 \text{Tekanan desain} &= 1,2 \times \text{Pop} \\
 &= 24,94 \text{ psia}
 \end{aligned}$$

Tebal *shell*

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{P R}{f E - 0,6 P} + C \\
 &= \frac{(21,644 \text{ psia}) (90.19 \text{ in})}{(16000 \text{ psia}) (0,85) - 0.6 (21,644 \text{ psia})} + 0,125 \text{ in} \\
 &= 0,35 \text{ in}
 \end{aligned}$$

## 3. Tebal head

$$\begin{aligned}
 \text{ID} &= 283,867 \text{ in} \\
 \text{OD} &= \text{ID} + 2 t_s \\
 &= 284,62 \text{ in} \\
 &= 192 \text{ in} \\
 r_c &= 170 \text{ in} \quad (\text{Brownell \& Young, Table 5.7}) \\
 t &= \frac{0,885 P \cdot r_c}{f E - 0,1 P} + C \\
 t &= \frac{(0,885) (19,706 \text{ psia}) (170 \text{ in})}{(16000 \text{ psia}) (0,85) - (0,1) (19,706 \text{ psia})} + 0,125 \text{ in} \\
 t &= 0,40 \text{ in}
 \end{aligned}$$

## Menghitung Jaket Pemanas

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah steam (300}^\circ\text{C)} &= 973234,60 \text{ kg/jam} \\
 &= 2145592,99 \text{ lb/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{steam}} &= \frac{F_{\text{steam}}}{\rho_{\text{steam}}} = \frac{2145593 \text{ lb/jam}}{0,0313 \text{ lb/cuft}} \\
 &= 68549296,79 \text{ cuft/jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter inside jaket} = \text{Diameter dalam} + (2 \times \text{tebal shell})$$

$$(\text{D1}) = 27,5 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi jaket} = \text{Tinggi reaktor}$$

$$= 30,00 \text{ ft}$$

$$\text{Asumsi jarak jaket} = 5 \text{ in} = 0,42 \text{ ft}$$

$$\text{Diameter outside jaket} = \text{D1} + (2 \times \text{jarak jaket})$$

$$(D_2) = 37,5 \text{ ft}$$

Luas area steam, A :

$$A = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2)$$

$$= 510,25 \text{ ft}^2$$

Kecepatan superficial steam, v :

$$v = \frac{V_{\text{steam}}}{A} = \frac{68549296,79}{510,25}$$

$$= 134344,53 \text{ ft/jam}$$

### 13. Cooler II (E-212)

Fungsi : untuk menurunkan temperature dari reaktor pirolisis masuk (524C - 420C)

Type : Double pipe heat exchanger

1) Heat transfer

$$Q = 10700251,30 \text{ kkal/jam} = 42462031,94 \text{ btu/jam}$$

$$\text{Downterm A} = 39976,97 \text{ kg/jam} = 88134,03 \text{ lb/hr}$$

$$C_3, C_8, C_{16}, C_{30} = 549242 \text{ kg/jam} = 1210869,90 \text{ lb/hr}$$

2) LMTD

Hot fluid		Cold fluid	Differen	
975,2	Higher temperature	797	178	$\Delta t_2$
788	Lower temperature	95	693	$\Delta t_1$
			-515	$\Delta t_2 - \Delta t_1$

$$\text{LMTD} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{2,3 \log (\Delta t_2 / \Delta t_1)}$$

$$= \frac{-515}{2,3 \log (178 / 693)}$$

$$= 379,5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

3) Caloric temperature

$$T_{\text{av}} = 1/2 (T_1 + T_2)$$

$$= 881,6 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_{\text{av}} = 1/2 (t_1 + t_2)$$

$$= 446 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Trial ukuran DPHE 3 x 2 sch 40 panjang 20 ft hairpin

Dari tabel 11, kern

Untuk anulus :

$$D_2 = 3 \text{ in} = 0,26 \text{ ft}$$

$$D_1 = 2 \text{ in} = 0,20 \text{ ft}$$

untuk inner pipe:

$$D = 2 \text{ in} = 0,20 \text{ ft}$$

$$a'' = 0,622 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

*cold fluid: annulus, downterm A*

4) Flow area

$$D_2 = 0,26 \text{ ft}$$

$$D_1 = 0,20 \text{ ft}$$

$$a_a = \pi (D_2^2 - D_1^2) / 4$$

$$= 0,02043 \text{ ft}^2$$

*hot fluid: inner pipe, C3, C8, C16, C30*

4) Flow area

$$D = 0,20 \text{ ft}$$

$$a_p = \pi D^2 / 4$$

$$= 0,0309 \text{ ft}^2$$

$D_e = (D_2^2 - D_1^2)/D_1$ $= 0,13124 \text{ ft}$ <p>5) Mass velocity</p> $Ga = W/a_a$ $= 4313312,52 \text{ lb/(hr)(ft}^2\text{)}$ <p>6) Reynolds number</p> <p>Pada temperatur 446 °F,</p> $\mu = 0,32 \text{ cP (http://www.dowtherm.com)}$ $= 0,7744 \text{ lb/ft.hr}$ $Re_a = \frac{De \cdot Ga}{\mu}$ $= 730992$ <p>7) jH = 1000 (fig. 24 Kern)</p> <p>8) Pada temperatur 446 °F,</p> $c = 0,52 \text{ btu/lb.}^\circ\text{F (htt (fig.3 Kern))}$ $k = 0,02 \text{ btu/hr(ft}^2\text{)}(^\circ\text{F/ft) (Tabel 5 Kern)}$ $\left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} = 2,94225$ <p>9) <math>h_o = jH \frac{k}{De} \left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}</math></p> $= 352 \text{ btu/hr(ft}^2\text{)}(^\circ\text{F)}$	<p>5) Mass velocity</p> $Gp = w/a_p$ $= 39213571,97 \text{ lb/(hr)(ft}^2\text{)}$ <p>6) Reynolds number</p> <p>Pada temperatur 882 °F,</p> $\mu = 0,006 \text{ cP (Yaws viscosity)}$ $= 0,0146 \text{ lb/ft.hr}$ $Re_F = \frac{D \cdot Gp}{\mu}$ $= 5E+08$ <p>7) jH = 1000 (fig. 24 Kern)</p> <p>8) Pada temperatur 882 °F,</p> $c = 0,97 \text{ btu/lb.}^\circ\text{F (fig.3 Kern)}$ $k = 0,0145 \text{ btu/hr(ft}^2\text{)}(^\circ\text{F/ft) (Tabel 5 Kerr)}$ $\left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} = 0,9916$ <p>9) <math>h_i = jH \frac{k}{D} \left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}</math></p> $= 72 \text{ btu/hr(ft}^2\text{)}(^\circ\text{F)}$ <p>10) <math>h_{io} = h_i \times \frac{ID}{OD}</math></p> $= 72 \times \frac{0,20}{0,20}$ $= 72 \text{ btu/hr(ft}^2\text{)}(^\circ\text{F)}$
---	---

11) Clean overall coefficient,  $U_c$ :

$$U_c = \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{72 \times 352}{72 + 352} = 60,11 \text{ btu/hr(ft}^2\text{)}(^\circ\text{F)}$$

12) Design overall coefficient,  $U_D$

$$Rd = 0,002$$

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_c} + Rd$$

$$U_D = 53,6616 \text{ btu/hr(ft}^2\text{)}(^\circ\text{F)}$$

$h_o$	Summary	$h_i$
352	h outside	72
$U_c$	60,11	
$U_D$	53,66	

13) Required surface:

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta t} = 2085 \text{ ft}^2$$

$$\text{Required length} = \frac{A}{\dots}$$

$$= \frac{a''}{0,622} = 3353 \text{ lin ft}$$

Sehingga dibutuhkan 6 seri hairpin dengan panjang pipa 20 ft

$$L = 240 \text{ ft}$$

$$A = 240 \times 0,622$$

$$= 149,28 \text{ ft}^2$$

$$U_D = \frac{Q}{A \cdot \Delta t} = \frac{42462031,94}{149,3 \times 379,5}$$

$$= 749,6 \text{ btu/hr(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)}$$

$$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c \cdot U_D} = \frac{60,11 - 749,570}{60,11 \times 749,6}$$

$$= -0,02 \text{ (hr)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)/btu}$$

Pressure drop

$$1') \text{ De}' = D_2 - D_1 = 0,06 \text{ ft}$$

$$1') \text{ Untuk Re} = 533629869$$

$$\text{Re}_a' = \frac{\text{De}' \cdot G_a}{\mu}$$

$$= 319340$$

$$f = 0,0035 + \frac{0,264}{(\text{De}' \cdot G_a / \mu)^{0,42}}$$

$$= 0,00479$$

$$s = 0,59, \rho = 63 \times 0,59 = 37$$

$$f = 0,0035 + \frac{0,264}{(\text{D} \cdot G_p / \mu)^{0,42}}$$

$$= 0,0035 + \frac{0,264}{4628,51}$$

$$= 0,0036$$

$$s = 0,62, \rho = 63 \times 0,62 = 39$$

$$2') \Delta F_a = \frac{4fG_a^2 L}{2g\rho^2 \text{De}'}$$

$$= 1312,029 \text{ ft}$$

$$2') \Delta F_p = \frac{4fG_p^2 L}{2g\rho^2 D}$$

$$= 21090,512 \text{ ft}$$

$$3') V = \frac{G}{3600\rho} = 32,49 \text{ fps}$$

$$\Delta P_f = \frac{\Delta f_p \cdot \rho}{144} = 5675,4 \text{ psi}$$

$$F_l = 3 \frac{V}{2g} = 3 \times \frac{32,49}{2 \times 32,2} = 1,514 \text{ ft}$$

$$\Delta P_a = \frac{(\Delta f_a + F_l)\rho}{144} = 336,367 \text{ psi}$$











### 15. Tangki C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> (F-314)

Fungsi : Menyimpan sementara C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> pada tekanan 29 psia dan temperatur .60°C

Menentukan tipe tangki penyimpanan :

Tipe tangki yang dipilih yaitu berbentuk silinder tegak dengan tutup atas dan bawah berbentuk torispherical head

Bahan konstruksi yang dipilih adalah Carbon Steel SA-283 Grade C dengan allowable stress 12650 psi

Menentukan dimensi tangki,

Digunakan 1 tangki penyimpanan untuk bahan yang disimpan untuk jangka waktu 3 jam pada unit tangki penyimpanan. Jumlah C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> yang ditampung di tangki untuk kebutuhan produksi.

$$\frac{11009,01 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 3 \text{ jam}}{1} = 33027,03 \text{ kg}$$

Menghitung volume C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> di tangki penyimpanan,

$$P = 2,04 \text{ kg/cm}^2 = 29 \text{ Psi} = 1,97 \text{ atm}$$

$$T = 60 \text{ }^{\circ}\text{C} = 333 \text{ K}$$

Tabel C.3 Densitas campuran (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> dan C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>)

Komponen	xi	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho \cdot x_i$
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,995	0,136068	0,135388
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0,005	0,127856	0,000639
Total	1		0,136

Volume tangki penyimpanan,

$$33027,03 \text{ kg} \times \frac{1}{0,136027 \text{ kg/m}^3} = 242797,41 \text{ m}^3$$

Sehingga didapatkan volume tangki yang akan direncanakan,

$$V_{\text{liquid}} = 242797,41 \text{ m}^3 = \text{##### bbl}$$

Menentukan diameter dan tinggi tangki,

$$\text{rasio } H/D = 2$$

Diameter tangki ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V_{\text{liquid}} = \left[ \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) H + \left( 2 \cdot 0,000049 D^3 \right) \right]$$

$$242797,4 = \left( \frac{3,14 D^2}{4} \right) 2D + \left( 0,000049 2D^3 \right)$$

$$242797,41 = \left( 0,785 2D^3 + 0,000049 2D^3 \right)$$

$$D^3 = \frac{242797,41}{1,57}$$

$$= 309276,8 \text{ meter}$$

$$D = 67,6 \text{ meter} = 221,87 \text{ ft}$$

$$r = 33,8 \text{ meter} = 110,94 \text{ ft}$$

$$H = D$$

$$= 67,6 \text{ meter} = 221,87 \text{ ft}$$

Menghitung tebal shell course,

Tebal shell course dihitung dengan menggunakan pers 3.16 dan 3.17 pg. 45 (Brownell & Young)

Berdasarkan circumferential stress,

$$t = \frac{P \times D + c}{2 \times f \times E - P}$$

Dimana :  
 $t$  = Thickness of shell , in  
 $p$  = Internal pressure , psi  
 $d$  = Inside diameter , in  
 $f$  = Allowable stress , psi  
 $E$  = Joint efficiency , -  
 $c$  = Corrosion allowance , in

Menentukan tekanan desain

$$P_h = \rho_{As} \times \frac{H}{144}$$

$$P = 1,05 (P_{op} + P_h)$$

$$= 1,05 \times \left\{ 29 + \left( \rho_{As} \times \frac{H}{144} \right) \right\}$$

$$= 1,05 \times \left\{ 29 + \left( 0,0085 \times \frac{222}{144} \right) \right\}$$

$$= 30,464 \text{ Psi}$$

Untuk pengelasan, digunakan double-welded butt joint, dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$E = 0,85 \quad (\text{Brownell \& Young, page 254})$$

$$c = 0,125$$

$$f = 12650,00$$

Sehingga  $t$  dapat dihitung,

$$t = \frac{P \times D}{2fE - P} + c = \frac{30,46 \times 2662,45}{2(12650 \times 0,85) - 30,46} + 0,125 = 3,90 \text{ in}$$

Menghitung tebal head : berdasarkan pers 7.76 dan 7.77 page. 138 Brownell (1959), tebal head diperoleh sbb:

$$W = \frac{1}{4} \left( 3 + \sqrt{\frac{rc}{ri}} \right)$$

$$t = \frac{P \times r_c \times W}{2f.E - 0,2.P}$$

Dari tabel 5.7 page 90 Brownell & Young didapatkan

$$r_c = r = 180 \text{ in}$$

$$r_i = i_{cr} = 14 \frac{7}{16} \text{ in}$$

$$W = 0,25 \times (3 + 3,53)$$

$$= 1,63 \text{ in}$$

$$t_h = \frac{P \times r_c \times W}{2f.E - 0,2.P} = \frac{30,46 \times 180 \times 1,63}{2(12650 \times 0,85) - 30,46} = 3,90 \text{ in}$$

$$= \frac{2f.E - 0,2.P}{(2 \times 12650 \times 0,85) - (0,2 \times 30,46)} = 0,4164 \text{ in}$$

Menghitung tinggi head

Berdasarkan penentuan dimensi *dished head* pg. 87 Brownell (1959)

diperoleh harga:

$$\begin{aligned} a &= \frac{ID}{2} = \frac{2662,4}{2} = 1331,22 \text{ in} \\ BC &= rc - icr = 180 - 14 = 165,56 \text{ in} \\ AB &= \frac{ID}{2} - icr = 1331,22 - 14 = 1316,8 \text{ in} \\ AC &= (BC^2 - AB^2)^{0,5} = 1306 \text{ in} \\ b &= AC - rc = 1306 - 180 = 1126,3 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari tabel 5.6 pg. 88 Brownell (1959), untuk tebal head  $2 \frac{1}{2}$  in

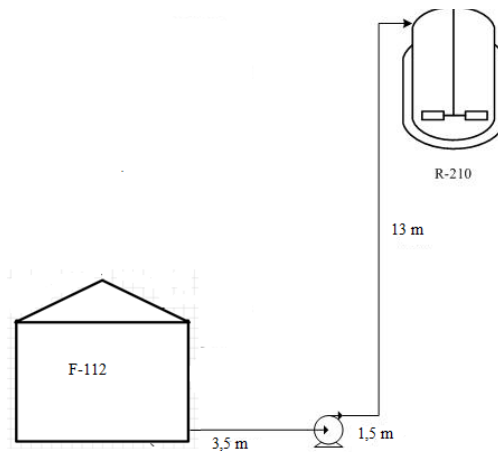
diperoleh harga  $sf = 1 \frac{1}{2} - 4 \frac{1}{2}$ . Dipilih  $sf = 4 \frac{1}{2}$

$$\begin{aligned} Hh &= th + b + sf \\ &= 0,42 + 1126,3 + 4,5 \\ &= 1131,3 \text{ in} = 28,734 \text{ meter} \end{aligned}$$

#### Spesifikasi :

Kode Alat	= F-314
Fungsi	= Menyimpan $C_3H_8$
Tipe Tangki	= <i>Roof - Torispherical Bottom Tank</i>
Bahan Konstruksi	= <i>Carbon Steel SA-283 Grade D</i>
Tekana Operasi	= 1,9733 atm
Tekanan Desain	= 2,0729 atm
Kapasitas Tangki	= 242797,41 m <sup>3</sup>
Tinggi Tangki	= 410,41 ft
Diameter Tangki	
Diameter dalam	= 222 ft
Diameter luar	= 222,5 ft
Tebal <i>Shell</i>	= 3,90 in
Tinggi <i>Shell</i>	= 94,27 ft
Tebal <i>Head</i> Tangki	= 0,42 in

#### 4. Pompa $H_3PO_4$



- Fungsi : Memompa asam fosfat dari tangki penyimpanan menuju pre-neutralizer reaktor  
 Jenis : Pompa sentrifugal  
 Jumlah : 1 unit  
 Bahan konstruksi : *High Alloy Steel SA-240 Grade M Tipe: 316*  
 Kondisi operasi :  
 - Tekanan = 1 atm  
 - Temperatur = 30 °C  
 - Flowrate = 12309,05 kg/jam  
 = 27136 lb/jam

Tabel C.4 Densitas campuran (asam fosfat dan air)

Komponen	xi	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho \cdot x_i$
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,5	1329	664,5
H <sub>2</sub> O	0,5	995,68	497,84
Total	1		1162,34

- $\rho$  campuran = 1162,3 kg/m<sup>3</sup>  
 = 73 lbm/ft<sup>3</sup>

Tabel C.5 Viskositas campuran (asam fosfat dan air)

Komponen	xi	$\mu_i$ (cP)	$\mu_i \cdot x_i$
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,5	2,0625	1,03125
H <sub>2</sub> O	0,5	0,8007	0,40035
Total	1		1,4316

- $\mu$  H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> = 1,43 cP  
 = 3,4632 lbm/ft hr  
 = 0,0014 kg/m.s

- Laju alir volumetrik,  $Q = \frac{F}{\rho}$   
 =  $\frac{12309 \text{ kg/jam}}{1162,3 \text{ kg/m}^3}$   
 = 10,590 m<sup>3</sup>/jam  
 = 0,1039 ft<sup>3</sup>/s

## 1. Perencanaan Pompa

Asumsi : Aliran turbulen ( $N_{re} > 2100$ )

$$D_i \text{ optimum} = 0,363 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13}$$

(Timmerhause, pers.15, hal 496)

$$\begin{aligned} D_i \text{ optimum} &= 0,363 (0,1039)^{0,45} (73)^{0,13} \\ &= 0,2287 \text{ ft} \\ &= 2,7443 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari Appendix A.5-1 Geankoplis ditentukan :

Nominal pipe size : 3 in = 0,0762 m

Schedule number : 80

Diameter luar : 3,5 in = 0,0889 m

Diameter dalam : 2,9 in = 0,0737 m

Inside sectional area : 0,0046 ft<sup>2</sup>

## 2. Jenis Aliran

$$v = \frac{Q}{A_i} = \frac{0,1039 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,0046 \text{ ft}^2} = 22,647 \text{ ft/s} = 6,9029 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{\rho v ID}{\mu} \\ &= \frac{(1162,3)(6,9029)(0,0737)}{0,0014316} \\ &= 412835,6 \end{aligned}$$

Karena  $N_{re} > 2100$ , maka asumsi aliran turbulen benar

Ukuran pipa keluar dipilih = 3 in      Schedule number = 80

## 3. Perhitungan Friction Losses

### a. Friksi pada pipa lurus

Panjang pipa yang digunakan:

$$\begin{aligned} - \text{pipa lurus} &= 20 \text{ m} \\ - 2 \text{ elbow } 90^\circ &= 2 \times 35 \times 0,0737 = 5,16 \text{ m} \\ - 1 \text{ gate valve} &= 1 \times 9 \times 0,0737 = 0,66 \text{ m} \\ \text{total pipa} &= 25,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Bahan pipa yang digunakan : Commercial Steel

Untuk pipa commercial steel,  $\epsilon = 0,000046 \text{ m}$

ID = 0,0737 m

Panjang total pipa = 25,8 m

$N_{re} = 412835,6$  (aliran turbulen)

$$\frac{\epsilon}{ID} = \frac{0,000046 \text{ m}}{0,0737 \text{ m}} = 0,0006 \text{ m}$$

Dengan memplotkan harga  $\epsilon/ID$  dan  $N_{re}$  didapatkan faktor friksi :

$$f = 0,004 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3})$$

Sehingga friction loss :

$$\begin{aligned} F_f &= \frac{4f \Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2} \quad (\text{Geankoplis, pers. 2.10-5}) \\ &= \frac{4 \times 0,004 \times 25,8 \times (6,9029)^2}{0,0737 \times 2} \\ &= 133,62 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

### b. Sudden Contraction



Friksi yang terjadi karena adanya perpindahan dari luas penampang besar ke luas penampang kecil

Untuk aliran turbulen,  $\alpha = 1$  (Geankoplis, hal 98)

$$h_c = K_c \frac{v_2^2}{2\alpha} \quad (\text{Geankoplis, pers. 2.10-17})$$

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right)$$

Karena  $A_2$  jauh lebih kecil dari  $A_1$ , maka  $A_2/A_1$  dianggap 0, sehingga, harga  $K_c = 0,55$

$$h_c = 0,55 \frac{(6,9029)^2}{2 \times 1} = 13,104 \text{ J/kg}$$

c. Friksi pada elbow :

Digunakan 2 buah elbow  $90^\circ$

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-1})$$

$$h_f = K_f \frac{v_2^2}{2\alpha}$$

$$h_f = 2 \times 0,75 \frac{(6,9029)^2}{2 \times 1}$$

$$h_f = 35,738 \text{ J/kg}$$

d. Friksi pada Valve

Digunakan 1 buah Gate Valve

$$K_f = 0,17 \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-1})$$

$$h_f = K_f \frac{v_2^2}{2\alpha} \quad (\text{Geankoplis, pers. 2.10-17})$$

$$h_f = 0,17 \frac{(6,9029)^2}{2 \times 1} = 4,0503 \text{ J/kg}$$

e. Sudden Enlargement Losses

Friksi yang terjadi karena adanya perpindahan dari luas penampang kecil ke luas penampang besar

Untuk aliran turbulen,  $\alpha = 1$  (Geankoplis, hal 98)

$$h_{ex} = K_{ex} \frac{v_2^2}{2\alpha}$$

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right)$$

Karena  $A_2$  jauh lebih kecil dari  $A_1$ , maka  $A_2/A_1$  dianggap 0, sehingga, harga  $K_c = 1$

$$h_{ex} = 1 \frac{(6,9029)^2}{2 \times 1} = 23,825 \text{ J/kg}$$

f. Friksi total pada pompa

$$\begin{aligned} \Sigma F &= F_f + H_c + h_f (\text{elbow} + \text{valve}) + h_{ex} \\ &= 133,62 + 13,104 + 35,738 + 4,0503 + 23,825 \\ &= 210,34 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

4. Daya Pompa

Persamaan Bernoulli

$$-W_s = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho} + (Z_2 - Z_1) \times g + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2} + \Sigma F$$

$$\rho \left( \frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2} \right) + \rho g (Z_2 - Z_1) + \rho \Delta P = 0 \quad (Geankoplis, pers. 2.7-28)$$

Dimana :

Tekanan pada titik 1 ( $P_1$ ) : tekanan keluar tangki  $H_3PO_4$

$$P_1 = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$$

Tekanan pada titik 2 ( $P_2$ ) : tekanan masuk pre-neutralizer reaktor

$$P_2 = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 0 \text{ Pa}$$

$$\Delta Z = 2,1 \text{ m}$$

$$v_2^2 - v_1^2 = 0 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} -W_s &= \frac{0}{1162,3} + \left( 2,1 \times 9,8 \right) + \frac{0}{2} + 210,34 \\ &= 230,92 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

$$W_s = -230,92 \text{ J/kg}$$

$$W_s = -\eta \times W_p \quad (\text{Geankoplis, hal 104})$$

$$-230,92 = -0,8 \times W_p$$

$$W_p = 288,64 \text{ J/kg}$$

## 5. Power Pompa

$$\text{Mass flowrate} = 12309,0 \text{ kg/jam}$$

$$= 3,4192 \text{ kg/s}$$

$$W_p = 288,64 \text{ J/kg}$$

$$\text{Brake Horse Power} = \text{mass flowrate} \times W_p$$

$$= 3,4192 \times 288,64$$

$$= 986,9259 \text{ W}$$

$$= 0,9869 \text{ kW}$$

$$= 1,323 \text{ Hp}$$

Maka dipilih pompa dengan daya motor = 1,5 Hp

## Spesifikasi :

Kode Alat = L-115

Fungsi = Memompa asam fosfat dari tangki penyimpanan menuju pre-neutralizer reaktor

Tipe = *Centrifugal Pump*

Kapasitas = 0,10 ft<sup>3</sup>/s

Power pompa = 1,3 hp

Ukuran pipa

D nominal = 3,0 in

ID = 2,9 in

OD = 3,5 in

Schedule No = 80,0

Bahan = High Alloy Steel SA-240 Grade M Tipe: 316

Power motor = 1,5 hp

## 5. Blower Heat Exchanger

Fungsi : Mengalirkan udara ke dalam heat exchanger untuk meningkatkan suhu  $\text{NH}_3$

Jenis : Sentrifugal

Jumlah : 1 unit

Bahan konstruksi :

Alasan : Kondisi operasi tangki pada tekanan 1 atm dan temperatur  $33^\circ\text{C}$   
Bahan relatif tahan terhadap korosi

Kondisi operasi :

- Tekanan = 1 atm = 407,19 inch  $\text{H}_2\text{O}$
- Temperatur =  $33^\circ\text{C}$
- Flowrate = 31296,56 kg/jam
- $\rho$  udara =  $1,167 \text{ kg/m}^3$
- Laju alir volumetrik,  $Q = \frac{F}{\rho} = \frac{31296,56 \text{ kg/jam}}{1,167 \text{ kg/m}^3}$   
= 26817,957  $\text{m}^3/\text{jam}$   
= 15784  $\text{ft}^3/\text{min}$

Daya Blower

$$\begin{aligned}
 P &= 2,72 \times 10^{-5} \times Q \times P \quad (\text{Perry's Ed.08, pers 10-84}) \\
 &= 2,72 \times 10^{-5} \times 26817,96 \times 407,19 \\
 &= 297,02 \text{ kW} \\
 &= 221,49 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

maka dipilih blower dengan daya motor 297 hp

**Spesifikasi :**

Kode Alat = G-221B

Fungsi = Menghembuskan udara ke heat exchanger

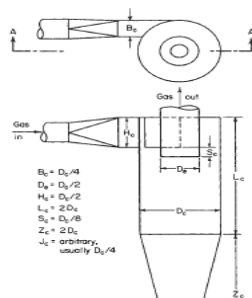
Jumlah = 1 (Satu)

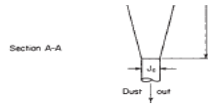
Tipe = *Centrifugal fan Tipe Backward-Curved*

Kapasitas = 8,69 kg/s

Power = 297 hp

## 6. Cyclone





- Fungsi : Menangkap padatan yang terikut oleh udara dari Rotary Dryer dan Rotary Cooler
- Jenis : Silinder tegak dengan tutup atas datar dan tutup bawah konis
- Jumlah : 1 unit
- Bahan konstruksi : *Carbon Steel SA-283 Grade C*
- Flowrate = 98381,57 kg/jam
  - = 216891 lb/jam

Tabel C.7 Densitas campuran

Komponen	xi	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho \cdot x_i$
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,001803	1769	3,188888
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,001898	1530	1,889993
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	0,000151	1323	0,199937
KCl	0,000827	1987	1,642979
H <sub>2</sub> O	0,060732	995,68	60,46989
Udara	0,934589	1,167	1,090665
Total	1,00		68,48235

- $\rho$  padatan = 6,9218 kg/m<sup>3</sup>  
= 0,43 lbm/ft<sup>3</sup>
- $\rho$  gas = 1,0907 kg/m<sup>3</sup>  
= 0,07 lbm/ft<sup>3</sup>

Karena zat padat tidak memiliki viskositas maka viskositas campuran yaitu antara udara dan uap air dalam udara

Tabel C.8 Viskositas campuran (udara dan air)

Komponen	xi	$\mu_i$ (cP)	$\mu_i \cdot x_i$
H <sub>2</sub> O	0,0607	0,8007	0,048628
Udara	0,9346	0,01879	0,017561
Total			0,066189

Penentuan Dimensi Cyclone

$$D_{p, th} = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu \cdot Bc}{\pi \cdot N_s \cdot V_{max} \cdot (\rho_p - \rho_g)}}$$

Referensi: Perry's Chemical Engineer Handbook, 2008 (page 17-30)

$N_s$  = jumlah putaran efektif dalam cyclone

$$= 4$$

$$V_{max} = 20 \text{ m/s}$$

Data Perry 8ed fig. 17-39

$$E_o = 85\%$$

$$D_{pi}/D_p = 3$$

$$D_{pi} = 0,03 \text{ m}$$

$$D_{p,th} = D_{pi} / 3 = 0,01 \text{ m}$$

$$(D_{p,th})^2 = \frac{9 \times \mu \times B_c}{\pi \times N_s \times V_{max} \times (\rho_{padat} - \rho_{gas})}$$

$$0,0001 = \frac{9 \times 0,0176 \times B_c}{3,14 \times 4 \times 20 \times (6,92 - 1,09)}$$

$$B_c = \frac{0,146478}{0,158048}$$

$$B_c = 0,9268$$

Dimensi cyclone dari Perry's Chemical Engineering Handbook edisi 8

$$B_c = \frac{D_c}{4}$$

$$D_c = 3,7072 \text{ meter}$$

$$D_e = \frac{D_c}{2} = \frac{3,7072}{2} = 1,8536 \text{ meter}$$

$$H_c = \frac{D_c}{2} = \frac{3,7072}{2} = 1,8536 \text{ meter}$$

$$L_c = 2 \times D_c$$

$$= 2 \times 3,7072$$

$$= 7,4143 \text{ meter}$$

$$S_c = \frac{D_c}{8} = \frac{3,7072}{8} = 0,4634 \text{ meter}$$

$$Z_c = 2 \times D_c$$

$$= 2 \times 3,7072$$

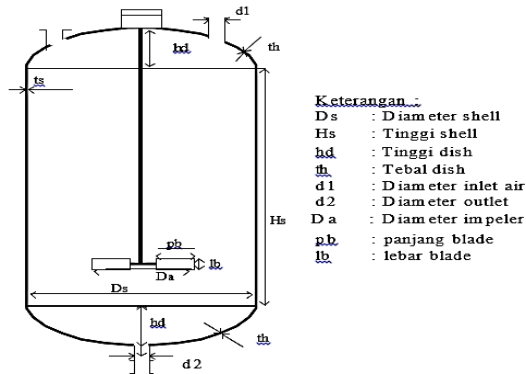
$$= 7,4143 \text{ meter}$$

$$J_c = \frac{D_c}{4} = \frac{3,7072}{4} = 0,9268 \text{ meter}$$

#### Spesifikasi :

Kode Alat	= H-313
Fungsi	= Menangkap padatan yang terikut oleh udara dari Rotary Dryer dan Rotary Cooler
Jumlah	= 1 (Satu)
Bahan Konstruksi	= <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Rate Volumetrik	= 98382 kg/jam
Dimensi Cyclone	
Bc	= 0,927 meter
Dc	= 3,707 meter
De	= 1,854 meter
Hc	= 1,854 meter
Lc	= 7,414 meter
Sc	= 0,463 meter
Zc	= 7,414 meter
Jc	= 0,927 meter

## 7. Pre-Neutralizer Reactor



Fungsi : Mereaksikan  $\text{NH}_3$  dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  menjadi  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Menentukan tipe reaktor,

Tipe reaktor yang dipilih yaitu berbentuk silinder vertikal berpengaduk dengan tutup atas dan bawah berbentuk torispherical head

- Bahan baku yang disimpan berwujud cair
- Kondisi operasi tangki pada tekanan 1 atm dan temperatur 393 K

Menentukan bahan konstruksi,

Bahan konstruksi yang dipilih adalah Carbon Steel SA-283

Grade A dengan pertimbangan:

- Bahan baku berwujud cair korosif
- Maximum allowable stress* cukup besar : 12650 psi

Menentukan dimensi tangki,

Digunakan 1 reaktor untuk untuk mereaksikan  $\text{NH}_3$  dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dengan laju alir massa :

$$\text{Flowrate} = \frac{430461,64 \text{ kg}}{24 \text{ jam}} = 17935,90 \text{ kg/jam}$$

Menghitung volume  $\text{NH}_3$  di tangki penyimpanan,

$$P = 1,03 \text{ kg/cm}^2 = 14,65 \text{ Psi} = 1 \text{ atm}$$

$$T = 120 \text{ }^\circ\text{C} = 393 \text{ K}$$

Tabel C.9 Densitas campuran

Komponen	$x_i$	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho \cdot x_i$
$\text{NH}_3$	0,11	638,6	68,422
$\text{H}_2\text{SO}_4$	0,18	1826,1	319,698
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,34	1329	456,033
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0,03	1769	53,962
$\text{H}_2\text{O}$	0,34	995,68	342,654
Total	1,00		1240,769

Tabel C.5 Viskositas campuran

Komponen	$x_i$	$\mu_i \text{ (cP)}$	$\mu_i \cdot x_i$
$\text{NH}_3$	0,11	0,0135	0,001
$\text{H}_2\text{SO}_4$	0,18	1,9	0,333

H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,34	7,35	2,522
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,03	8,94	0,273
H <sub>2</sub> O	0,34	0,8007	0,276
Total			3,404

$$17935,90 \text{ kg} \times \frac{1}{1240,769 \text{ kg/m}^3} = 14,46 \text{ m}^3$$

*Safety factor* tangki : 0,1

Sehingga didapatkan volume tangki yang akan direncanakan,

$$\begin{aligned} V_{\text{tangki}} &= 15,90 \text{ m}^3 \\ &= 100,01 \text{ bbl} \end{aligned}$$

Menentukan diameter dan tinggi tangki,

Berdasarkan Tabel 4.18 pg. 248 Ulrich (1984), rasio L/D = 2

Diameter tangki ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} V_{\text{tangki}} &= \left[ \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) L + \left( 2 \cdot 0,000049 \cdot D^3 \right) \right] \\ 15,90 &= \left[ \left( \frac{3,14 \cdot D^2}{4} \right) 2D + \left( 0,000049 \cdot 2D^3 \right) \right] \\ 15,90 &= ( 0,785 \cdot 2D^3 + 0,000049 \cdot 2D^3 ) \\ D^3 &= \frac{15,90}{1,57} \\ &= 10,127 \text{ meter} \\ D &= 2,16 \text{ meter} = 85,179 \text{ in} \\ r &= 1,08 \text{ meter} = 42,589 \text{ in} \\ L &= 2D \\ &= 2 \times 2,16 \\ &= 4,33 \text{ meter} = 170,36 \text{ in} \end{aligned}$$

Menentukan tebal dinding

Tekanan desain ditentukan dengan rumus dibawah ini

$$\begin{aligned} P_{\text{des}} &= 1,2 \times P_{\text{op}} \\ &= 1,2 \times 14,696 \text{ psia} \\ &= 17,635 \text{ psia} \end{aligned}$$

Untuk pengelasan, digunakan double-welded butt joint, dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E &= 0,85 \quad (\text{Brownell \& Young, page 254}) \\ c &= 0,125 \\ f &= 12650 \end{aligned}$$

Sehingga t dapat dihitung,

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{P_{\text{des}} \times r}{f \cdot E - 0,6 P_{\text{des}}} + c \\ &= \frac{17,64 \times 42,589}{(12650 \times 0,85) - 10,581} + 0,125 \\ &= 0,1949 \text{ in} \end{aligned}$$

Maka digunakan tebal *shell* standar 5/16 in

Menentukan diameter luar tangki

$$\begin{aligned} (OD)_s &= (ID)_s + 2 t_s \\ &= 85,179 + 0,875 \\ &= 86,054 \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung tebal head : berdasarkan persamaan 7.76 dan 7.77  
page. 138 Brownell (1959), tebal head diperoleh sbb:

$$W = \frac{1}{4} \left( 3 + \sqrt{\frac{r_c}{r_i}} \right)$$

$$t = \frac{P \times r_c \times W}{2f.E - 0,2.P}$$

Dari tabel 5.7 page 90 Brownell & Young didapatkan

$$r_c = r = 90 \text{ in}$$

$$r_i = i_{cr} = 5 \frac{1}{8} \text{ in} = 5,125 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} W &= 0,25 \times ( 3 + 4,19 ) \\ &= 1,8 \text{ in} \end{aligned}$$

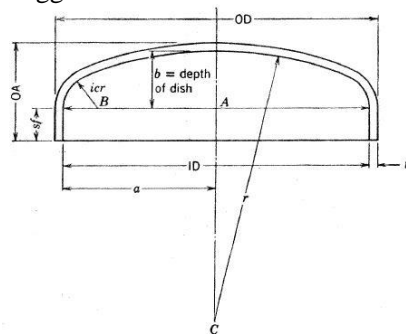
$$t_h = \frac{P \times r_c \times W}{2f.E - 0,2.P}$$

$$t_h = \frac{17,64 \times 90 \times 1,7976}{( 2 \times 12650 \times 0,85 ) - ( 0,2 \times 17,64 )}$$

$$t_h = 0,1327 \text{ in}$$

Digunakan tebal head standar 1/4

Menghitung tinggi head



Berdasarkan penentuan dimensi *dished head* pg. 87 Brownell (1959)  
diperoleh harga:

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{85,179}{2} = 42,589 \text{ in}$$

$$BC = r_c - i_{cr} = 90 - 5,125 = 84,875 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - i_{cr} = 42,589 - 5,125 = 37,464 \text{ in}$$

$$AC = (BC^2 - AB^2)^{0.5} = 76,159 \text{ in}$$

$$b = r_c - AC = 90 - 76,159 = 13,841 \text{ in}$$

Dari tabel 5.6 pg. 88 Brownell (1959), untuk tebal head 1/4 in  
diperoleh harga sf = 1 ½ - 2 ½. Dipilih sf = 2 ½ Maka :

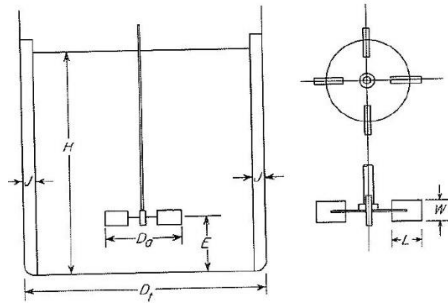


$$\begin{aligned}
 H_h &= th + b + sf \\
 &= 0,25 + 13,841 + 2,5 \\
 &= 16,591 \text{ in} = 0,4214 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Menghitung dimensi pengaduk

Jenis pengaduk : *six-blade turbine*

Jumlah baffle : 4 buah



Menurut McCabe (1999) pg. 243, dimensi turbin standar yaitu:

$$\begin{aligned}
 Da/D_t &= 1/3 ; Da = 1/3 \times 85,179 = 28,4 \text{ in} \\
 E/D_a &= 1 ; E = 1 \times 28,393 = 28,4 \text{ in} \\
 L/D_a &= 1/4 ; L = 1/4 \times 28,393 = 7,1 \text{ in} \\
 W/D_a &= 1/5 ; W = 1/5 \times 28,393 = 5,68 \text{ in} \\
 J/D_t &= 1/12 ; J = 0,08 \times 85,179 = 7,1 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Dimana,

$D_t$  = diameter tangki

$D_a$  = diameter impeller

$E$  = tinggi turbin dari dasar tangki

$L$  = panjang blade turbin

$W$  = lebar blade turbin

$J$  = lebar baffle

Menghitung power pengaduk

Kecepatan pengadukan,  $N = 2 \text{ rps}$

$$\begin{aligned}
 NRe &= \frac{\rho \cdot N \cdot Da^2}{\mu} \\
 &= \frac{1.240,77 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ rps} \times 0,52 \text{ m}^2}{3,404 \text{ kg/m.s}} \\
 &= 379,11
 \end{aligned}$$

Power pengadukan ditentukan oleh persamaan 9.20 pg. 253

McCabe (1999), dimana nilai  $K_T$  diperoleh dari tabel 9.2 pg. 252

$$W/D_a = 0,14$$

$$\text{clearance} = 0,33$$

$$K_T = 2$$

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{K_T \cdot N^3 \cdot Da^5 \cdot \rho}{g_c} \\
 &= \frac{2 \times 8 \text{ rps}^3 \times 0,2 \text{ m}^5 \times 1.240,77 \text{ kg/m}^3}{9,8 \text{ m/s}^2} \\
 &= 395,19 \text{ kg}_f \cdot \text{m/s}
 \end{aligned}$$

Menghitung tebal jaket pendingin

Diketahui dari perhitungan neraca panas, air pendingin yang dibutuhkan yaitu 3583,22 kg/jam

$$\begin{aligned} V_{\text{pendingin}} &= V_{\text{jaket}} \\ &= \frac{\text{Massa pendingin (air)}}{\text{Densitas air}} \\ &= \frac{3583,22}{995,64} \\ &= 3,5989 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$V_{j+s} = \left[ \left( \frac{\pi D^2}{4} \times L \left( 2 \cdot 0,000049 D^3 \right) \right) \right]$$

Dimana  $H_j$  merupakan tinggi *shell* + tinggi *head bootom*

$$V_{j+s} = \left( \frac{3,14 D^2}{4} \right) 2D + \left( 0,000049 2D^3 \right)$$

$$19,50 = \left( 0,785 2D^3 + 0,000049 2D^3 \right)$$

$$D^3 = \frac{19,50}{1,57}$$

$$= 12,42 \text{ meter}$$

$$D = 2,32 \text{ meter} = 91,173 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak shell dengan jaket} &= D - (OD)_s \\ &= 91,2 - 86,1 \\ &= 5,12 \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung tebal jaket

$$\begin{aligned} P_{\text{des}} &= 1,05 \times P_h \\ &= 1,05 \times \left( \rho_{\text{air}} \times \frac{H_j}{144} \right) \\ &= 1,05 \times \left( 62,155 \times \frac{33,6}{144} \right) \\ &= 15,225 \text{ Psi} \end{aligned}$$

Sehingga  $t$  dapat dihitung,

$$\begin{aligned} t_j &= \frac{P_{\text{des}} \times r}{f E - 0,6 P_{\text{des}}} + c \\ &= \frac{15,22 \times 45,59}{(12650 \times 0,85) - 9,1348} + 0,125 \\ &= 0,19 \text{ in} \end{aligned}$$

Digunakan tebal standart yaitu 3/16 in

### Spesifikasi :

Kode Alat	= R-110
Fungsi	= Mereaksikan $\text{NH}_3$ dengan $\text{H}_2\text{SO}_4$ dan $\text{H}_3\text{PO}_4$
Tipe Reaktor	= <i>Roof - Torispherical Bottom Tank</i>
Jumlah Tangki	= 1 (Satu)
Bahan Konstruksi	= <i>Carbon Steel SA-283 Grade D</i>

Tekana Operasi	=	1	atm
Tekanan Desain	=	1,2	atm
Kapasitas Tangki	=	15,90	m <sup>3</sup>
Tinggi Tangki	=	7,09	ft
Diameter Tangki			
Diameter dalam	=	2,16	in
Diameter luar	=	1,08	in
Tebal <i>shell</i>	=	5/16	in
Tinggi <i>head</i> tangki	=	1,38	ft
Tebal <i>head</i> tangki	=	1/4	in
Diameter jaket			
Diameter dalam	=	91,17	in
Diameter luar	=	91,55	in
Tebal jaket	=	0,19	in

## 7. Kompresor tangki NH<sub>3</sub>

Fungsi : Meningkatkan tekanan NH<sub>3</sub> menjadi 11 atm  
agar NH<sub>3</sub> berubah fase dari gas menjadi cair

Jenis : Sentrifugal

Jumlah : 1 unit

Bahan konstruksi :

Diketahui :

- Flowrate = 3362,024 kg/jam  
= 0,9339 kg/s
- $\rho$  udara = 1,167 kg/m<sup>3</sup>  
= 0,0729 lbm/ft<sup>3</sup>

$$\begin{aligned}
 \text{- Laju alir volumetrik, } Q &= \frac{F}{\rho} \\
 &= \frac{3362,024 \text{ kg/jam}}{1,167 \text{ kg/m}^3} \\
 &= 2880,912 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 28,261 \text{ ft}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

$$\text{- Suhu Udara} = 33^\circ\text{C} = 306 \text{ K}$$

$$\text{- Tekanan masuk (P}_1\text{)} = 1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa}$$

$$\text{- Tekanan keluar (P}_2\text{)} = \# \text{ atm} = 1114,6 \text{ kPa}$$

$$\text{- } Y \text{ udara} = 1,4 \quad (\text{Geankoplis, Page 152})$$

$$\text{- BM udara} = 29,68$$

Dari persamaan (7-58) Cengel & Boles

$$W_{\text{comp}} = W_{\text{comp in 1}} + W_{\text{comp in 2}}$$

$$W_{\text{comp in 1}} = \frac{nRT_1}{n-1} \left[ \left( \frac{P_x}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right]$$

$$W_{\text{comp in 2}} = \frac{nRT_1}{n-1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_x} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right]$$

Dari persamaan (7-59) Cengel & Boles

$$\begin{aligned} P_x &= (P_1 P_2)^{1/2} \\ &= (101,325 \times 1114,6)^{1/2} \\ &= 336,06 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Dimana nilai  $n = 1,3$  dan nilai  $R = 0,287 \text{ kJ/kg K}$

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{1,3 \times 0,287 \times 306}{1,30 - 1} \left[ \left( \frac{336,06}{101,325} \right)^{0,231} - 1 \right] \\ &= \frac{114,17}{0,30} (1,32 - 1) \\ &= 121,3 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_2 &= \frac{114,17}{0,30} \left[ \left( \frac{1114,6}{336,057} \right)^{0,231} - 1 \right] \\ &= 121,3 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Mengitung daya total kompresor

Dengan efisiensi = 80% (Ulrich tabel 4-9, Page 120)

$$W = \frac{W_1 + W_2}{\eta} = \frac{121,3 + 121,3}{80\%} = 303,26 \text{ kJ/kg}$$

Mengitung power kompresor

$$\begin{aligned} P &= W \times m \\ &= 303,26 \times 0,9339 \\ &= 283,21 \text{ kW} = 379,79 \text{ hP} \end{aligned}$$

**Spesifikasi :**

Kode Alat = G-119

Fungsi = Meningkatkan tekanan  $\text{NH}_3$  menjadi 11 atm  
agar  $\text{NH}_3$  berubah fase dari gas menjadi cair

Jumlah = 1 (Satu)

Tipe = *Double stage compressor*

Kapasitas = 0,93 kg/s  
Power = 380 hp











## 16. *Reboiler II* (E-324)

### 1. *Heat Balance*

$$\begin{aligned}\text{Aliran bahan panas, } Q &= 5322335,177 \text{ kkal/hari} \\ &= 880402,9439 \text{ Btu/jam} \\ W &= 15861,06 \text{ kg/hari} \\ &= 1456,98 \text{ lb/jam} \\ \text{Aliran bahan dingin, } W &= 286018,29 \text{ kg/hari} \\ &= 26273,40 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

### 2. *LMTD*

$$\begin{aligned}T_1 &= 300 \text{ }^{\circ}\text{C} = 572 \text{ }^{\circ}\text{F} \\ T_2 &= 287 \text{ }^{\circ}\text{C} = 548 \text{ }^{\circ}\text{F} \\ t_1 &= 206 \text{ }^{\circ}\text{C} = 403 \text{ }^{\circ}\text{F} \\ t_2 &= 290 \text{ }^{\circ}\text{C} = 554 \text{ }^{\circ}\text{F}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{LMTD} &= \frac{(572 - 554) - (548 - 403)}{\ln \frac{(572 - 554)}{(548 - 403)}} \\ \text{LMTD} &= 61,15 \text{ }^{\circ}\text{F}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R &= \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} & S &= \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \\ R &= \frac{24}{151} = 0,156 & S &= \frac{151}{169} = 0,9\end{aligned}$$

Dari Fig. 18 Kern didapatkan  $F_T = 1$  karena nilai  $R$  dan  $S = 0$ , maka  $\Delta T = \text{LMTD}$   
 $\Delta T = 61,15 \text{ }^{\circ}\text{F}$

### 3. Menentukan koefisien perpindahan panas keseluruhan

$$U_D = 150 \text{ Btu / (jam)(ft}^2\text{)(}^{\circ}\text{F)}$$

Ludwig volume 3 page 94

### 4. Memilih ukuran *tube*

Dari Tabel 10 hal 843 Kern, dipilih pipa dengan kriteria :

$$\begin{aligned}\text{OD} &= 1 \text{ in} & \text{Ludwig volume 3 page 35} \\ \text{BWG} &= 14 & \text{McKetta volume 50 page 85} \\ L &= 12 \text{ ft} \\ \text{ID} &= 0,834 \text{ in} \\ a'' &= 0,262 \text{ ft}^2/\text{ft} \\ a_t' &= 0,546 \text{ in}^2\end{aligned}$$

### 5. Menghitung luas perpindahan panas (A)

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta T} = \frac{880402,9439}{150 \times 61,15} = 96 \text{ ft}^2$$

#### 6. Menghitung jumlah pipa dan diameter shell

$$N_t = \frac{A}{L \cdot a''} = \frac{95,988}{12 \times 0,262} = 30,55$$

Dari tabel 9 hal 841-842 Kern dipilih *heat exchanger* dengan ketentuan :

<i>Shell</i>	<i>Tube</i>
ID : 15,25 in	<i>No. of Tube</i> : 74
B : 3,05 in	OD, BWG : 1 in 14 BWG
<i>Pass</i> : 1	<i>Pitch</i> : 1,25 in triangular
	<i>Pass</i> : 6

#### 7. Mengkoreksi harga $U_D$

Menghitung harga A terkoreksi

$$A \text{ terkoreksi} = N_t \times L \times a''$$

$$= 232,5 \text{ ft}^2$$

Menghitung harga  $U_D$  koreksi

$$U_{D \text{ koreksi}} = \frac{Q}{A_{\text{terkoreksi}} \times \Delta t_{\text{mean}}}$$

$$= 62 \text{ Btu / (jam)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)}$$

#### 8. Perhitungan $T_{av}$ dan $t_{av}$

karena viskositas yang relatif kecil,  $T_c = T_{av}$  dan  $t_c = t_{av}$

$$T_c = T_{av} = \frac{572 + 548}{2} = 560 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_c = t_{av} = \frac{403 + 554}{2} = 478 \text{ }^\circ\text{F}$$

*Cold fluid (shell) : bottoms*

*Hot fluid (tube) : steam*

#### 9. Flow area

$$a_t = \frac{N_t \times a_t'}{144 \text{ n}}$$

$$= \frac{74 \times 0,5}{144 \times 6}$$

$$= 0,047 \text{ ft}^2$$

#### 10. Mass velocity

$$G_t = \frac{w}{a_t}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1457}{0,047} \\
 &= 31156,2 \text{ lb/jam.ft}^2
 \end{aligned}$$

11. Pada  $T_a = 560 \text{ }^\circ\text{F}$   
 $= 293 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $= 566 \text{ }^\circ\text{K}$

Dari Fig.15 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 \mu &= 0,02 \text{ cP} \\
 &= 0,04 \text{ lb/ ft.jam}
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 10 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{0,834}{12} \\
 &= 0,07 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Re_t &= \frac{DG_t}{\mu} \\
 &= \frac{0,1 \times 31156}{0,04} \\
 &= 52326
 \end{aligned}$$

12. Asumsi  $h_o = 280$

12. *Condensation of steam*

$$\begin{aligned}
 h_{io} &= 1500 \\
 &\text{Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

13. *Tube-wall temperature*

$$\begin{aligned}
 t_w &= t_c + \frac{h_{io}}{h_{io} + h_o} (T_c - t_c) \\
 &= 478 + \frac{1500}{1780} \times 82 \\
 &= 547,3 \text{ }^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\Delta t)_w &= 547,3 - 478,4 \\
 &= 68,98 \text{ }^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

Dari Fig 15.11 Kern, didapatkan

$$\begin{aligned}
 h_v &> 300 \\
 &\text{sehingga dipakai } 280
 \end{aligned}$$

14. *Clean overall coefficient*

$$U = \frac{h_{io} \times h_o}{\dots}$$

$$\begin{aligned}
 U_c &= \frac{h_{i_o} + h_o}{\frac{1500}{1500} + \frac{280}{280}} \\
 &= \frac{1500 \times 280}{1500 + 280} \\
 &= 236 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}
 \end{aligned}$$

### 15. Design overall coefficient

Diketahui *external surface* /ft,  $a' = 0,2618 \text{ ft}^2/\text{ft}$

$$\begin{aligned}
 A &= N_t \times L \times a' \\
 &= 74 \times 12 \times 0,2618 \\
 &= 232 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_D &= \frac{Q}{A \times \Delta t} \\
 &= \frac{880402,9439}{232 \times 61,15} \\
 &= 62 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}
 \end{aligned}$$

Cek maksimum *flux*

$$\begin{aligned}
 \frac{Q}{A} &= \frac{880402,94}{232,48} \\
 &= 3787 \text{ Btu/jam.ft}^2 \quad (\text{sesuai})
 \end{aligned}$$

### 16. Dirt factor

$$\begin{aligned}
 R_d &= \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D} \\
 &= \frac{236 - 62}{236 \times 62} \\
 &= 0,0119 \text{ jam.ft}^2.\text{°F/Btu}
 \end{aligned}$$

Ringkasan

280	<i>h outside</i>	1500
$U_c$	=	235,96
$U_D$	=	61,93
$R_{d \text{ calc}}$	=	0,01191

### Pressure Drop

Diabaikan

1.  $Re_t = 52326$   
 Dari Fig.26 Kern,  
 didapatkan  
 $f = 0,0001$   
 $s = 0,9998$

Menghitung *specific gravity*

Komponen	$x_i$	s.g	$sg \cdot x_i$
----------	-------	-----	----------------

C16H34	0,9999	0,8	0,9998
C8H16	0,0001	0,7	1E-08
<b>Total</b>	<b>1,0000</b>		<b>0,9998</b>

$$\begin{aligned}
 2. \quad \Delta P_t &= \frac{f G_t^2 L n}{5.22 \times 10^{10} D s \phi} \\
 \Delta P_t &= \frac{9085821}{3627174539} \\
 &= 0,0025 \text{ psi} \\
 3. \quad G_t &= 31156 \\
 &\text{Dari Fig.27 Kern,} \\
 &\text{didapatkan} \\
 \frac{V^2}{2g'} &= 0,001 \\
 \Delta P_r &= \frac{4 \times n}{s} \times \frac{V^2}{2g'} \\
 &= \frac{4 \times 6}{0,9998} \times 0,001 \\
 &= 0,024 \text{ psi} \\
 4. \quad \Delta P_T &= P_t + P_r \\
 &= 0,0025 + 0,024 \\
 &= 0,03 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

#### Resume Spesifikasi Reboiler

Spesifikasi	Keterangan
Kode Alat	= E-324
Fungsi	= Mendidihkan kembali liquida dari kolom distilasi
Jenis	= <i>Shell and tube</i> (1-6 HE)
Jumlah	= 1
Bahan Konstruksi	= <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Luas Area	= 232,5 ft <sup>2</sup>
Temperatur	
T <sub>1</sub>	= 572 °F
T <sub>2</sub>	= 548,4 °F
t <sub>1</sub>	= 402,8 °F
t <sub>2</sub>	= 553,9 °F
<b>Tube</b>	
OD , BWG	= 1 in , 14 BWG
ID	= 0,834 in
Length	= 12 ft
Jumlah tube	= 74
Pitch	= 1,25 in <i>triangular</i>

$$\Delta P_{tube} = 0,03 \text{ psi}$$

**Shell**

$$ID_{shell} = 15,25 \text{ in}$$

$$\Delta P_{shell} = \text{diabaikan}$$

$$Fouling\ factor = 0,01191 \text{ jam.ft}^2.\text{°F/Btu}$$

---

## 17. Akumulator II (A-322)

Fungsi : Menampung hasil keluaran kondensor.

- Tujuan :
- Menentukan tipe akumulator
  - Menentukan bahan konstruksi akumulator
  - Menghitung kapasitas akumulator
  - Menghitung panjang dan diameter akumulator
  - Menghitung tebal dinding akumulator
  - Menghitung tebal *head*
  - Menghitung panjang *head*

Kondisi : Temperatur = 126,7 °C  
operasi Tekanan = 1 atm

- a. Menentukan tipe akumulator

Akumulator dipilih berbentuk silinder horisontal berbentuk *torispherical dished head*

- b. Menentukan bahan konstruksi

Bahan konstruksi yang dipilih adalah *Stainless Steel* AISI tipe 304 dengan pertimbangan

- Mempunyai *allowable stress* yang tinggi
- Harga relatif murah
- Tahan terhadap korosi

- c. Menentukan dimensi utama akumulator

$$\begin{aligned}\rho_{\text{Liquid}} &= 642,01 \text{ kg/m}^3 \\ m_{\text{Liquid}} &= 268704 \text{ kg/hari} = 11196 \text{ kg/jam} \\ V_{\text{liquid}} &= 418,53 \text{ m}^3/\text{hari} = 17,44 \text{ m}^3/\text{jam}\end{aligned}$$

### Menentukan volume akumulator

*Residence time* fluida = 10 menit Silla, 2003

$$\begin{aligned}\text{Vol. Liquid} &= 2,91 \text{ m}^3 \\ &= 102,64 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

$$\text{Safety factor} = 10\%$$

$$\begin{aligned}\text{Vol. Liq} + \text{Safety} &= 112,91 \text{ ft}^3 \\ &= 195101 \text{ in}^3\end{aligned}$$

- d. Menghitung diameter dan panjang akumulator

Untuk perancangan digunakan

Volume *torispherical head* ( $V_h$ ) Brownell & Young, 88

$$V_h = 4,9E-05 D_i^3 (\text{ft}^3)$$

$$V_h = 0,08467 D_i^3 (\text{in}^3)$$

$$L/D = 4 \quad \text{Silla, 2003 page 285}$$

$$V_{\text{Head}} = 0,08467 \times D^3 \quad (\text{in}^3) \text{ (Torispherical Head)}$$



$$\begin{aligned}
V_{\text{tangki}} &= \frac{\pi \times D^2 \times L}{4} + 2 \cdot V_{\text{Head}} \\
&= \frac{\pi \times D^2 \times 4 D}{4} + 2 \times 0.084672 \times D^3 \\
&= \frac{3,1 \times D^2 \times 4 D}{4} + 2 \times 0,08467 \times D^3 \\
&= 3,309 D^3 \\
D^3 &= \frac{\text{Vol. Liq}}{3,309} \\
&= \frac{195101}{3,309} \\
D &= 38,92 \text{ in} \\
L &= 58,38 \text{ in}
\end{aligned}$$

e. Menghitung tebal dinding akumulator,

- *Allowable stress* = 17000 psi
- *Joint Efficiency* = 0,85
- *Corrosion Factor* = 0,125

$$\begin{aligned}
t_s &= \frac{P \times r_i}{f \times E - 0,6 P} + c \\
&= \frac{14,7 \times 19,46}{17000 \times 0,85 - 0,6 \times 14,7} + 0,125 \\
&= 0,14 \text{ in} \\
&= \frac{3}{16} \text{ in}
\end{aligned}$$

f. Menghitung tebal head akumulator,

Bahan konstruksi yang digunakan sama dengan bagian *shell*,

$$\begin{aligned}
OD_s &= ID_s + 2 \cdot t_s \\
&= 38,92 + 0,38 \\
&= 39,29 \text{ in}
\end{aligned}$$

Berdasarkan literatur Brownell and Young digunakan OD standard dengan spesifikasi sebagai berikut (tabel 5.7. Brownell & Young hal 90)

$$\begin{aligned}
OD_s &\approx 22 \text{ in} \\
rc &= 21 \\
icr &= 1,375
\end{aligned}$$

Menghitung intensification stress,

$$W = \frac{1}{4} \left( 3 + \sqrt{\frac{r_c}{r_1}} \right) \quad W = 1,727$$

Menghitung tebal *head*

$$\begin{aligned} t_h &= \frac{P \cdot r_c \cdot W}{2 \cdot f \cdot E \cdot 0.2 \cdot P} + c \\ &= \frac{14,7 \times 21 \times 1,73}{2 \times 17000 \times 0,85 - 0,2 \times 14,7} + 0,125 \\ &= 0,143 \text{ in} \\ t_h &= \frac{3}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung tinggi *head*,

$$ID = 38,92$$

$$OD = 39,29$$

Berdasarkan Brownell and Young, hal 87 didapatkan :

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{38,9}{2} = 19 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} BC &= r_c - icr = 21 - 1,375 \\ &= 20 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AB &= \frac{ID}{2} - icr = 19 - 1,375 \\ &= 18 \text{ in} \end{aligned}$$

$$AC = \sqrt{BC^2 - AB^2} \quad AC = 7,6 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} b &= r_c - AC = 21 - 7,6 \\ &= 13 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari tabel 5-6 literatur Brownell and Young didapatkan,

$$sf = 1,75$$

Dengan data - data diatas, tinggi *head* dapat dihitung

$$\begin{aligned} H_h &= t_h + b + sf \\ &= 0,2 + 13 + 1,75 \\ &= 15 \text{ in} \end{aligned}$$

g. Menentukan panjang akumulator

$$\begin{aligned} L_{Total} &= (2 \times H_h) + L \\ &= 30,634 + 58,38 \\ &= 89,01 \text{ in} \end{aligned}$$

## Resume Spesifikasi Akumulator

Spesifikasi	Keterangan
-------------	------------

Kode Alat : A-322  
Fungsi : Menampung hasil keluaran kondensor.  
Jenis : *Horizontal - Torispherical Head Vessel*  
Bahan Konstruksi : *Stainless Steel* AISI - 304  
Kapasitas : 195101 in<sup>3</sup>  
Dimensi  
Panjang : 89,01 in  
*Shell*  
OD : 39,29 in  
ID : 38,92 in  
Tebal : 0,188 in  
*Head*  
OD : 22 in  
ID : 38,92 in  
Tebal : 0,188 in  
Tinggi : 15,32 in

---

## 18. Kondensor (E-321)

### 1. Heat Balance

$$\begin{aligned}\text{Aliran bahan panas, } W &= 252627,15 \text{ kg/hari} \\ &= 23206,1195 \text{ lb/jam} \\ \text{Aliran bahan dingin, } Q &= 3550005,03 \text{ kkal/hari} \\ &= 587229,998 \text{ Btu/jam} \\ W &= 236994,845 \text{ kg/hari} \\ &= 21770,1489 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

### 2. LMTD

$$\begin{aligned}T_1 &= 126,7 \text{ } ^\circ\text{C} = 260,11 \text{ } ^\circ\text{F} \\ T_2 &= 126,7 \text{ } ^\circ\text{C} = 260,11 \text{ } ^\circ\text{F} \\ t_1 &= 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 86 \text{ } ^\circ\text{F} \\ t_2 &= 45 \text{ } ^\circ\text{C} = 113 \text{ } ^\circ\text{F}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{LMTD} &= \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} \\ \text{LMTD} &= \frac{(260 - 113) - (260 - 86)}{\ln \frac{(260 - 113)}{(260 - 86)}}\end{aligned}$$

$$\text{LMTD} = 160,24 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\begin{aligned}R &= \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} & S &= \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \\ R &= \frac{0}{27} = 0 & S &= \frac{27}{174} = 0,155\end{aligned}$$

Dari Fig. 18 Kern, karena nilai  $R = 0$  maka  $F_T = 1$ , sehingga  $\Delta T = \text{LMTD}$   
 $\Delta T = 160,24 \text{ } ^\circ\text{F}$

Penentuan *number of shell passes* berdasarkan temperatur

$$\begin{aligned}&= \frac{(T_1 - T_2) + (t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} \\ &= \frac{27}{174} \\ &= 0,16\end{aligned}$$

Berdasarkan *Rules of Thumb in Engineering Practice* by Donald R. Woods (Halaman 70) untuk *ratio* 0 - 0,8 *number of shell passes* adalah 1

Sehingga digunakan HE tipe 1

### 3. Menentukan koefisien perpindahan panas keseluruhan

$$U_D = 150 \text{ Btu} / (\text{jam})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F})$$

Dari data viskositas, maka di dapatkan nilai  $U_D$  pada Kern table 8 halaman 840

### 4. Memilih ukuran *tube*

Dari Tabel 10 hal 843 Kern, dipilih pipa dengan kriteria :

$$\begin{aligned} \text{OD} &= 1 \text{ in} && \text{Ludwig volume 3 page 35} \\ \text{BWG} &= 14 && \text{McKetta volume 50 page 85} \\ L &= 12 \text{ ft} \\ \text{ID} &= 0,834 \text{ in} \\ a'' &= 0,262 \text{ ft}^2/\text{ft} \\ a_t' &= 0,546 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

### 5. Menghitung luas perpindahan panas (A)

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta T} = \frac{587229,9984}{150 \times 160,24} = 24,432 \text{ ft}^2$$

### 6. Menghitung jumlah pipa dan diameter shell

$$N_t = \frac{A}{L \cdot a''} = \frac{24,432}{12 \times 0,262} = 7,777$$

Dari tabel 9 hal 841-842 Kern dipilih *heat exchanger* dengan ketentuan :

Shell	Tube
ID : 12 in	No. of Tube : 52
B : 12 in	OD, BWG : 1 in 14 BWG
Pass : 1	Pitch : 1,25 in triangular
	Pass : 2

Asumsi maksimum *baffle space*

### 7. Mengkoreksi harga $U_D$

Menghitung harga A terkoreksi

$$\begin{aligned} A_{\text{terkoreksi}} &= N_t \times L \times a'' \\ &= 163,4 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Menghitung harga  $U_D$  koreksi

$$\begin{aligned} U_{D \text{ koreksi}} &= \frac{Q}{A_{\text{terkoreksi}} \times \Delta t_{\text{mean}}} \\ &= 22,433 \text{ Btu} / (\text{jam})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F}) \end{aligned}$$

### 8. Perhitungan $T_{av}$ dan $t_{av}$

karena viskositas yang relatif kecil,  $T_c = T_{av}$  dan  $t_c = t_{av}$

$$T_c = T_{av} = \frac{260 + 260}{2} = 260,1 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_c = t_{av} = \frac{86 + 113}{2} = 99,5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_c = T_{av} = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

## 9. Perhitungan viskositas aliran panas

Komponen	A	B	C	D
C3H8	-3,176	297,00	0,0095	-1,9E-05
C8H16	-5,925	888	0,0129	-1,4E-05
C16H34	-8,189	1557	0,0153	-1,2E-05

$$\mu = A + BT + CT^2 + DT^3$$

Dimana  $\mu$  = viskositas,  $\mu P$   
 $T$  = temperatur, K  
 $A, B, C, D$  = parameter (Carl L Yaws)

$$T_c = 260 \text{ } ^\circ F = 516 \text{ K}$$

Komponen	$x_i$	$\mu$ ( $\mu P$ )	$\mu \cdot x_i$
C3H8	0,00001	153222	1,53222
C8H16	0,99994	459807	459779
C16H34	0,00005	805836	40,2918
Total	1		459821

$$\mu = 45,98 \text{ cP}$$

Hot fluid (shell) : vapor Cold fluid (tube) : water

## 10. Flow area

Menghitung C'

$$C' = P_T - OD$$

$$= 1,25 - 1$$

$$= 0,25$$

$$a_s = \frac{ID \times C' \times B}{144 P_T}$$

$$= \frac{12 \times 0,25 \times 12}{144 \times 1,25}$$

$$= 0,2 \text{ ft}^2$$

## 11. Mass velocity

$$G_s = \frac{W}{a_s}$$

$$= \frac{23206,1}{0,2}$$

$$= 116031 \text{ lb/jam.ft}^2$$

$$\text{Loading}$$

$$W$$

## 10. Flow area

$$a_t = \frac{N_t \times a_t'}{144 n}$$

$$= \frac{52 \times 0,55}{144 \times 2}$$

$$= 0,0986 \text{ ft}^2$$

## 11. Mass velocity

$$G_t = \frac{w}{a_t}$$

$$= \frac{21770,149}{0,0986}$$

$$= 220830 \text{ lb/jam.ft}^2$$

$$V = \frac{G_t}{3600 \times \rho_{air}}$$

$$G = \frac{L \times N_t^{2/3}}{12 \times 13,9} = \frac{23206,1195}{12 \times 13,9} = 139 \text{ lb/jam.lin ft}$$

$$= \frac{220829,9132}{3600 \times 62,5} = 0,9815 \text{ fps}$$

Asumsi

$$h^- = h_o = 150$$

$$t_w = t_a + \frac{h_o}{h_{io} + h_o} (T_a - t_a)$$

$$= 100 + \frac{150}{338} \times 161$$

$$= 171 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_f = \frac{T_a + t_w}{2}$$

$$= \frac{260 + 171}{2}$$

$$= 215 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Dari Tabel 4

$$k_f = 0,094$$

$$\text{Btu/(jam)}(\text{ft}^2)(^\circ\text{F/ft})$$

$$s_f = 0,81 \quad \text{Tabel 6}$$

$$\mu_f = 0,27 \text{ cP}$$

Fig. 14

Dari Fig. 12.9 didapatkan

$$h^- = h_c = 180$$

12. Pada  $t_a = 99,5 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$= 38 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 311 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Dari Fig.14 Kern  
didapatkan

$$\mu = 0,60 \text{ cP}$$

$$= 1,45 \text{ lb/ ft.jam}$$

Dari Tabel 10 hal 843  
Kern didapatkan

$$D = \frac{0,834}{12}$$

$$= 0,07 \text{ ft}$$

$$Re_t = \frac{DG_t}{\mu}$$

$$= \frac{0,1 \times 220830}{1,45}$$

$$= 10570$$

13. Dari Fig.23 Kern  
didapatkan  
Correction factor = 0,94

$$h_i = 200 \times 0,94$$

$$= 188 \text{ Btu/jam.ft}^2.^\circ\text{F}$$

$$h_{io} = h_i \times \frac{ID}{OD}$$

$$= 188 \times \frac{0,8}{1}$$

$$= 156,8 \text{ Btu/jam.ft}^2.^\circ\text{F}$$

#### 14. Clean overall coefficient

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$$

$$= \frac{156,8 \times 180}{156,8 + 180}$$

$$= 83,8 \text{ Btu/jam.ft}^2.^\circ\text{F}$$

#### 15. Design overall coefficient

Diketahui *external surface* /ft,  $a'' = 0,2618 \text{ ft}^2/\text{ft}$

$$\begin{aligned} A &= N_t \times L \times a'' \\ &= 52 \times 12 \times 0,2618 \\ &= 163 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_D &= \frac{Q}{A \times \Delta t} \\ &= \frac{587229,9984}{163 \times 160,24} \\ &= 22 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

#### 16. Dirt factor

$$\begin{aligned} R_d &= \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D} \\ &= \frac{84 - 22}{84 \times 22} \\ &= 0,0326 \text{ jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu} \end{aligned}$$

#### Ringkasan

180	<i>h outside</i>	156,8
$U_c$	=	83,80
$U_D$	=	22,43
$R_{d \text{ calc}}$	=	0,03264

#### Pressure Drop

1. Pada  $T_a = 260,1 \text{ } ^\circ\text{F}$   
 $= 127 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $= 400 \text{ K}$   
 Dari perhitungan  
 didapatkan  
 $\mu = 45,982 \text{ cP}$   
 $= 111,28 \text{ lb/ft. jam}$

Dari Fig 28

$$\begin{aligned} D_e &= \frac{0,7}{12} \\ &= 0,1 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Re_s &= \frac{D_e G_s}{\mu} \\ &= \frac{0,1 \times 116031}{111,27676} \\ &= 62,5633 \end{aligned}$$

1.  $Re_t = 10570$   
 Dari Fig.26 Kern,  
 didapatkan  
 $f = 0,0025$   
 $s = 1$
2.  $\Delta P_t = \frac{f G_t^2 L n}{5.22 \times 10^{10} D s \phi_t}$   
 $\Delta P_t = \frac{2925951033}{3627900000}$   
 $= 0,8065137 \text{ psi}$
3.  $G_t = 220830$   
 Dari Fig.27 Kern,  
 didapatkan  
 $\frac{V^2}{2g'} = 0,01$   
 $\Delta P = \frac{4 \times n \times V^2}{\dots}$



Dari Fig.29 Kern,  
didapatkan  
 $f = 0,0027 \text{ ft}^2/\text{in}^2$

Menghitung *specific gravity*

Komponen	$x_i$	s.g	$sg \cdot x_i$
C3H8	0,00001	0,3	0,00
C8H16	0,99994	0,7	0,70
C16H34	0,00005	0,8	0,00
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>0,70</b>

## 2. No. of crosses

$$N + 1 = 12 \times \frac{L}{B}$$

$$N + 1 = 12 \times \frac{12}{12}$$

$$N + 1 = 12$$

$$D_s = \frac{ID}{12} = 1 \text{ ft}$$

## 3.

$$\Delta P_s = \frac{f G_s^2 D_s (N+1)}{5.22 \times 10^{10} D_e^5} \times \frac{1}{2}$$

$$\Delta P_s = \frac{436204425}{4384806264}$$

$$= 0,099481 \text{ psi}$$

$$\Delta P_r = \frac{4 \times 2}{1} \times 0,01$$

$$= 0,1 \text{ psi}$$

## 4.

$$\Delta P_T = P_t + P_r$$

$$= 0,8065 + 0,1$$

$$= 0,8865 \text{ psi}$$

## Resume Spesifikasi Kondensor

Spesifikasi	Keterangan
Kode Alat	= E-321
Fungsi	= Mengondensasikan uap dari kolom distilasi.
Jenis	= <i>Shell and tube</i>
Jumlah	= 1
Bahan Konstruksi	= <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Luas Area	= 163,4 $\text{ft}^2$
Temperatur	
$T_1$	= 260,1 $^{\circ}\text{F}$
$T_2$	= 260,1 $^{\circ}\text{F}$
$t_1$	= 86 $^{\circ}\text{F}$
$t_2$	= 113 $^{\circ}\text{F}$
<b>Tube</b>	
OD , BWG	= 1 ir, 14 BWG
ID	= 0,834 in

*Length* = 12 ft  
*Jumlah tube* = 52  
*Pitch* = 1,25 in *triangular*  
 $\Delta P_{tube}$  = 0,08 psi

***Shell***

ID *shell* = 12 in  
 $\Delta P_{shell}$  = 0,099481 psi  
*Fouling factor* = 0,0326 jam.ft<sup>2</sup>.°F/Btu

---

## BIOGRAFI PENULIS



**Helmi Kurnia Arnanda.** Dilahirkan di Jombang, 27 Februari 1996, merupakan anak ke-1 dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Kepanjen II Jombang (2002-2008), SMPN II Jombang (2008-2011), dan SMAN Mojoagung (2011-2014). Setelah lulus dari SMAN Mojoagung, penulis mengikuti Seleksi Ujian Masuk D3 ITS dan diterima di Program Studi DIII Teknik Kimia FTI-ITS pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP. 2314 030 066.

Penulis juga aktif dalam organisasi di Himpunan Mahasiswa DIII Teknik Kimia ITS sebagai Staf AKESMA HIMA D3KKIM (2015-2016), serta aktif di LDJ Fuki AL-Ikrom ITS sebagai Staff Dept. Danus (2017). Penulis juga telah menyelesaikan Kerja Praktek di PT. Linde Group yang merupakan produsen gas Menghubungi penulis dapat melalui email : [helmiarnanda14@gmail.com](mailto:helmiarnanda14@gmail.com).

## BIOGRAFI PENULIS

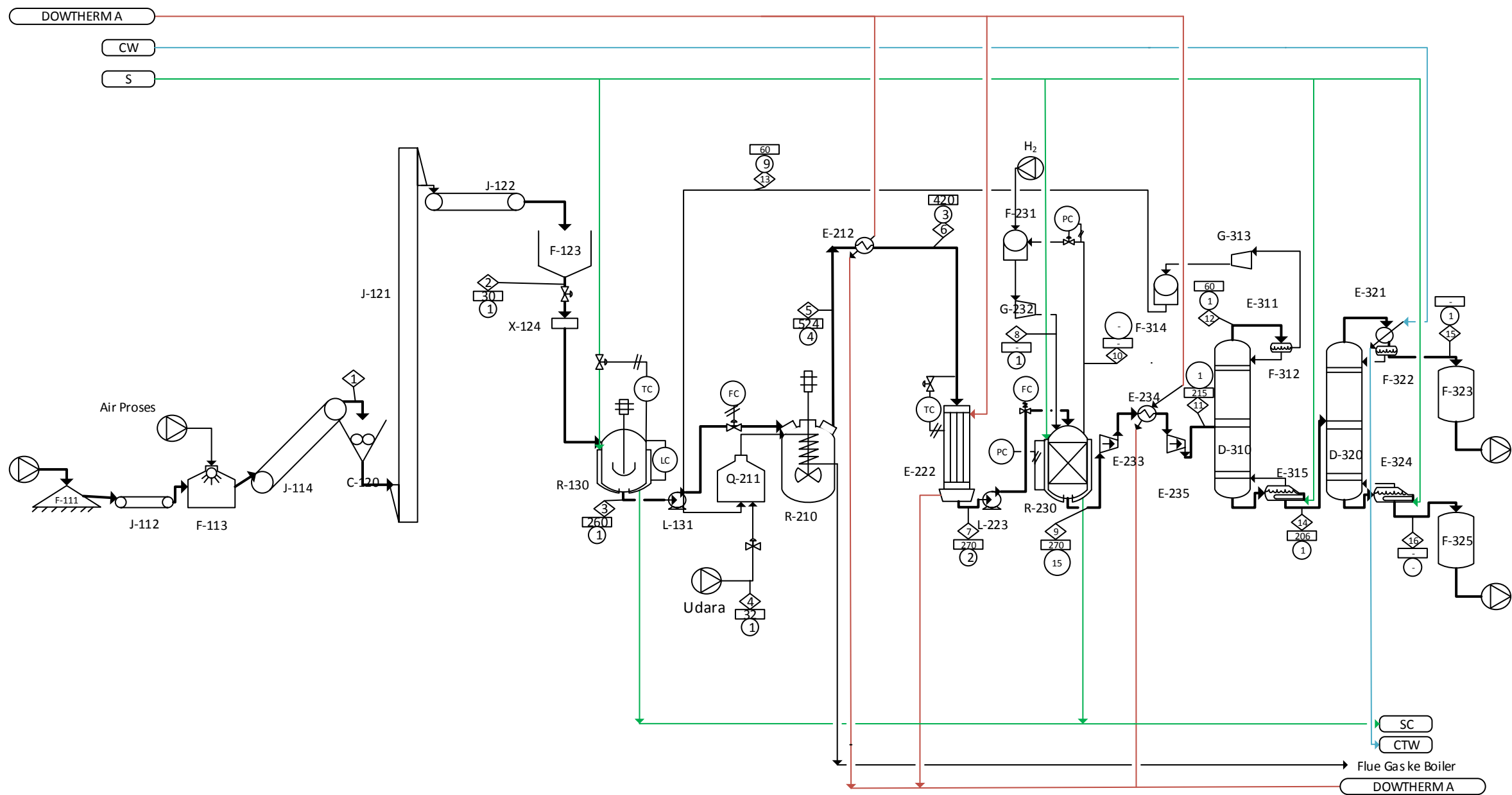


**Miftakul Bahar.** Dilahirkan di Sidoarjo, 1 Februari 1996, merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Jumput Rejo II (2002-2008), SMPN I Buduran (2008-2011), dan SMA PGRI 1 Sidoarjo (2011-2014). Setelah lulus dari SMA PGRI 1 Sidoarjo, penulis mengikuti Seleksi Ujian Masuk D3 ITS dan diterima di Program Studi DIII Teknik Kimia FTI-ITS pada tahun 2014 dan terdaftar dengan

NRP. 2314 030 072.

Penulis juga aktif dalam organisasi di LDJ Fuki AL-Ikrom ITS sebagai Staff Dept. Danus (2017). Penulis juga telah menyelesaikan Kerja Praktek di PT. Djombang Baru yang merupakan produsen gula. Menghubungi penulis dapat melalui email : [miftakulb@gmail.com](mailto:miftakulb@gmail.com).

PABRIK BASE OIL DAN GASOLINE DARI LIMBAH PLASTIK  
DENGAN PROSES *FAST PYROLYSIS*

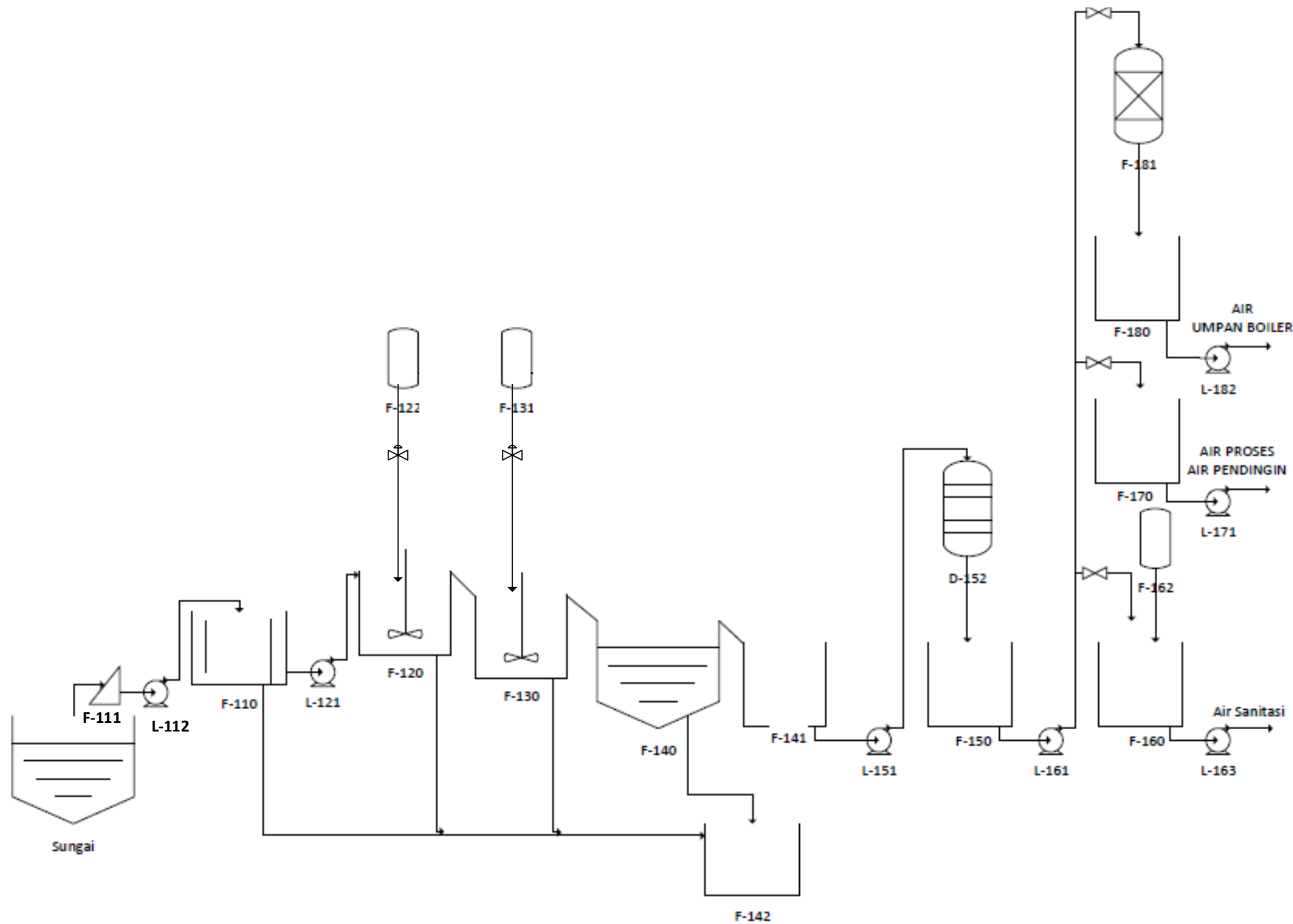


Bahan (kg)	Aliran 1	Aliran 2	Aliran 3	Aliran 4	Aliran 5	Aliran 6	Aliran 7	Aliran 8	Aliran 9	Aliran 10	Aliran 11	Aliran 12	Aliran 13	Aliran 14	Aliran 15	Aliran 16
PE	549242	549242	549242													
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>					10984,84	10984,84	10984,84		10984,84		10984,84	10983,74	10983,74	1,1	1,1	
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>					252651,32	252651,32	252651,32		252651,32		252651,32	25,27		252626,05	252600,79	28,6
C <sub>16</sub> H <sub>32</sub>					186742,28	186742,28	186742,28		286018,29		286018,29			286018,29	25,26	285989,69
C <sub>32</sub> H <sub>64</sub>					98863,56	98863,56	98863,56									
H <sub>2</sub>								423,6		10,91						
Udara				395537,986												
Total	549242	549242	549242	395537,986	549242	549242	549242	423,6	549654,45	10,91	549654,45	11009,01	10983,74	538645,44	252627,15	286018,29

34	F-325	Tangki Penampung Base Oil	1
33	E-324	Reboiler II	1
32	F-323	Tangki Penampung BBM	1
31	E-322	akumulator II	1
30	E-321	Kondensor II	1
29	D-320	Distilasi II	1
28	E-315	Reboiler I	1
27	F-314	Tangki Penampung H <sub>2</sub> II	1
26	G-313	Kompresor IV	1
25	F-312	Akumulator I	1
24	E-311	Kondensor I	1
23	D-310	Distilasi I	1
22	L-235	Kompresor III	1
21	E-234	Heat Exchanger	1
20	L-233	Kompresor II	1
19	G-232	Kompresor I	1
18	F-231	Tabung Penampung H <sub>2</sub> I	1
17	R-230	Reaktor Hydrocracking	1
16	L-223	Pompa Sentrifugal	1
15	E-222	Quenching Tower	1
14	E-212	Heat Exchanger	1
13	Q-211	Furnace	1
12	R-210	Reaktor Pirolisis	1
11	L-131	Pompa Sentrifugal	1
10	R-130	Melting	1
9	X-124	Feeder	1
8	F-123	Hopper	1
7	J-122	Belt Conveyor	1
6	J-121	Bucket Elevator	1
5	C-120	Shredder	1
4	J-114	Belt Conveyor	1
3	F-113	Tangki Pencuci	1
2	J-112	Belt Conveyor	1
1	F-111	Gudang Penyimpan PE	1
No.	Kode Peralatan	Nama Alat	Jumlah

Keterangan			
SC	Steam Condensate	○	Tekanan
CW	Cooling Water	◇	Nomor aliran
S	Steam	⊙	Flow Controller
A	Air	⊙	Temperatur Controller
		PROGRAM STUDI D III TEKNIK KIMIA	
		FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI	
		INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	
PABRIK BASE OIL DAN GASOLINE			
DARI LIMBAH PLASTIK			
DENGAN PROSES FAST PIROLISIS			
Dikerjakan oleh :			
NAMA/ NRP :		HELMI KURNIA ARNANDA/2314030066	
		MIFTAKUL BAHAR/2314030072	
DOSEN			
PEMBIMBING		Ir. Sri Murwanti, MT.	

# PENGOLAHAN AIR PABRIK BASE OIL DAN GASOLINE DARI LIMBAH PLASTIK DENGAN PROSES *FAST PYROLYSIS*



23	L-182	Pompa Effluent Tangki Penampung	1
22	F-181	Tangki Kation Exchanger	1
21	F-180	Tangki Penampung Air Umpan	1
20	L-171	Pompa Effluent Tangki Penampung	1
19	F-170	Tangki Penampung Air Pendingin	1
18	L-163	Pompa Effluent Tangki Penampung	1
17	F-162	Tangki Desinfektan	1
16	L-161	Pompa Feed Tangki	1
15	F-160	Tangki Penampung Air Sanitasi	1
14	D-152	Sand Filter	1
13	L-151	Pompa Feed Tangki Penampung	1
12	F-150	Tangki Penampung Air Bersih	1
11	F-142	Tangki Penampung Lumpur	1
10	F-141	Tangki Penampung	1
9	F-140	Clarifier	1
8	F-131	Tangki Ca(OH) <sub>2</sub>	1
7	F-130	Tangki Flokulasi	1
6	F-122	Tangki Tawas	1
5	L-121	Pompa Feed Tangki Koagulasi	1
4	F-120	Tangki Koagulasi	1
3	L-112	Pompa Feed Tangki Pengendapan	1
2	F-111	Filter	1
1	F-110	Tangki Pengendapan	1
No. Kode Peralatan		Nama Alat	Jumlah

	PROGRAM STUDI D III TEKNIK KIMIA	
	FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI	
	INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	
PENGOLAHAN AIR PABRIK BASE OIL DAN GASOLINE		
DARI LIMBAH PLASTIK		
DENGAN PROSES FAST PIROLISIS		
Dikerjakan oleh :		
NAMA/ NRP :	HELMY KURNIA ARNANDA/2314030066	
	MIFTAKUL BAHAR/2314030072	
DOSEN		
PEMBIMBING	Ir. Sri Murwanti, MT.	